

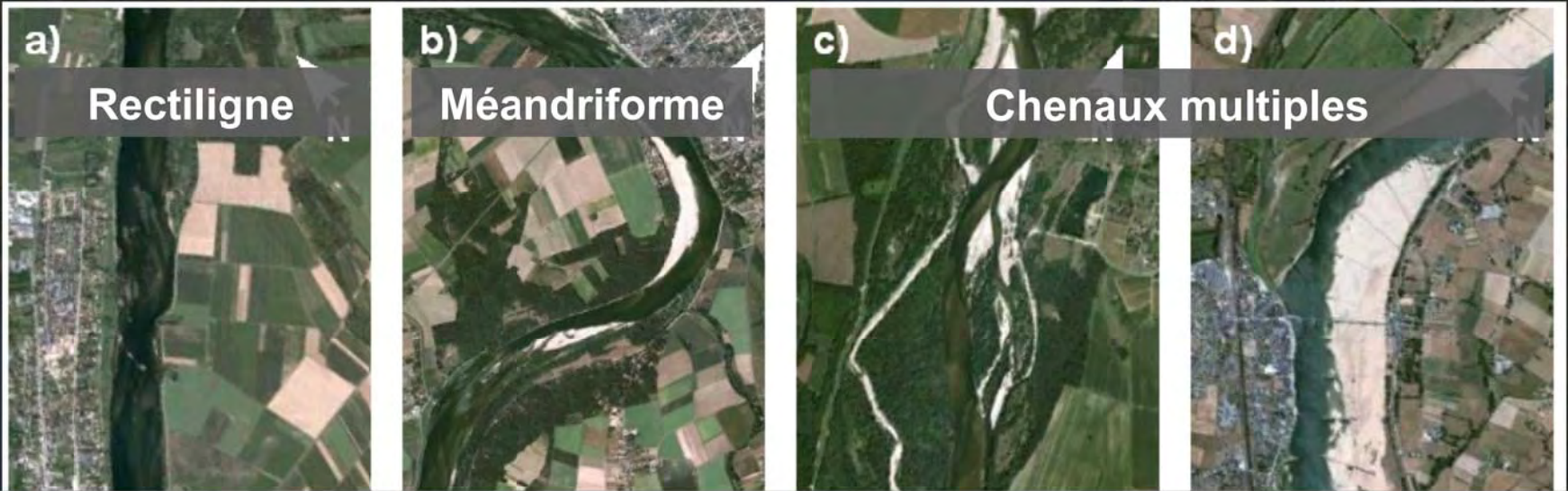
Processus et flux hydro-sédimentaires associés aux barres et bifurcations de la Loire moyenne

Nicolas Claude, Stéphane Rodrigues, Jean-Gabriel Bréhéret, Vincent
Bustillo, Benjamin Gandubert, Philippe Jugé



I. Contexte et problématique

Styles fluviatiles en Loire



Quels processus conditionnent l'évolution morphologique des rivières à chenaux multiples ?



0 ————— 1000 m

Source : Google earth

Qu'est ce qu'une barre sédimentaire ?



Barres
sédimentaires

Qu'est ce qu'une bifurcation ?



Problématique

- Comment évoluent les barres en fonction de l'hydrologie ?
- Comment interagissent les barres avec le transport solide et les écoulements ?
- Quels sont les processus hydro-sédimentaires associés aux bifurcations asymétriques ?
- Comment améliorer la gestion de la Loire moyenne ?

Caractériser les processus *in situ* au cours de plusieurs événements hydrologiques :

- Suivre l'évolution de la topographie du lit et des formes du lit
- Estimer les taux de charriage
- Examiner la distribution spatiale des vitesses de courant
- Quantifier les contraintes hydrauliques

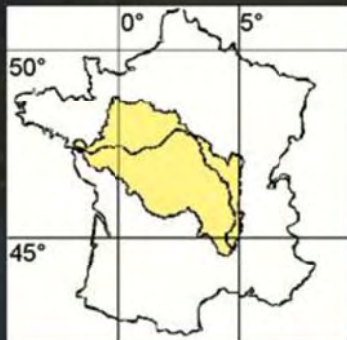
An aerial photograph of a river landscape. The river flows from the top left towards the bottom right, curving around a small island. The surrounding area is a mix of green fields, brown plowed land, and dense forests. A small town with white houses is visible on the right bank. A road and a railway line run parallel to the river in the foreground.

II. Site d'étude, matériels et méthodes



II.1. Site d'étude

Site d'étude: Bréhémont



Bassin versant:
117 000km²



0

100 km

Source: H.
Andriamahefa,
1999

Site d'étude

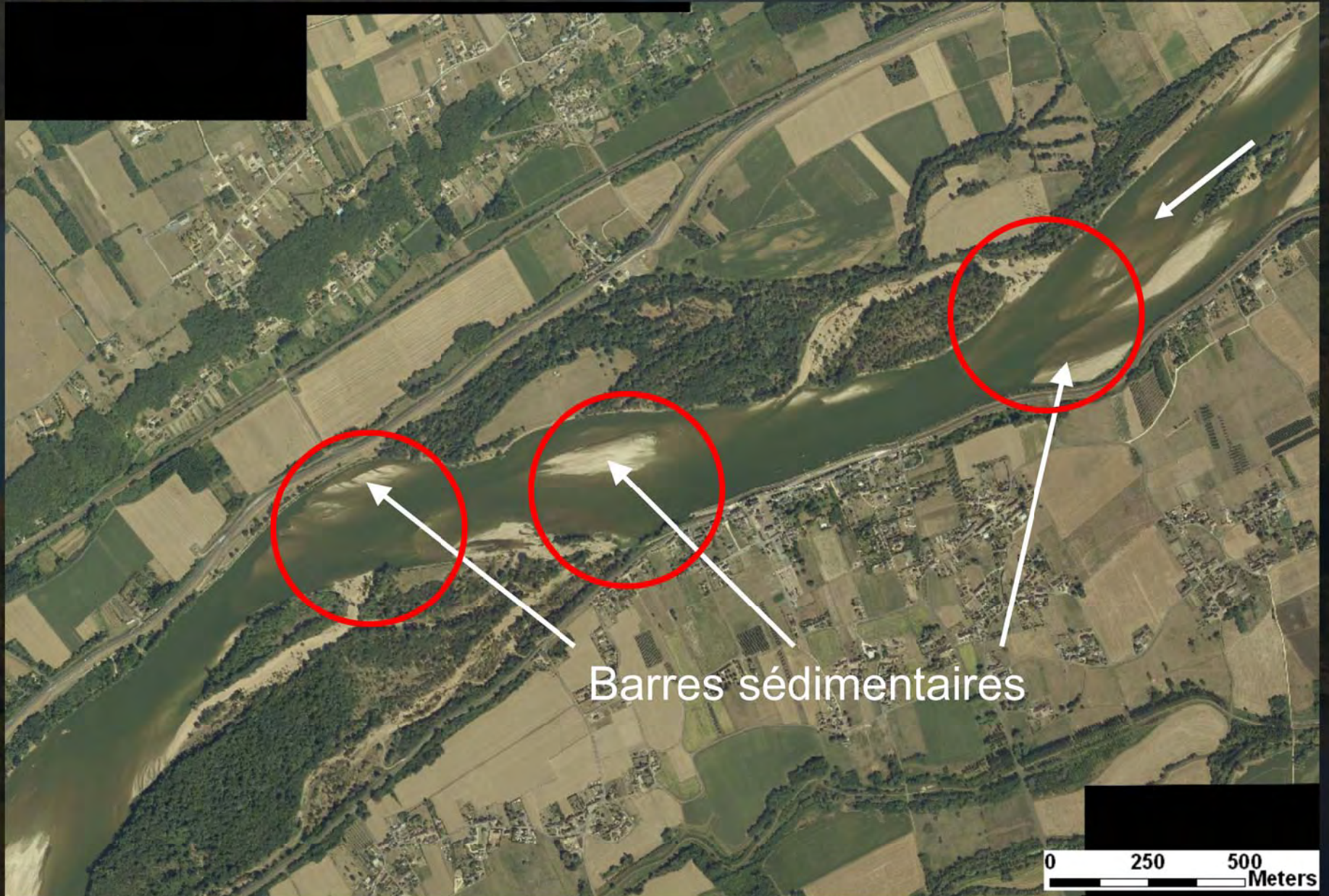


Site d'étude



meters

Site d'étude



Site d'étude



Site d'étude

Chenal principal

D50: 1.33 mm

D90: 5.12 mm

Chenal secondaire

$0.25 < D_{50} < 6$ mm

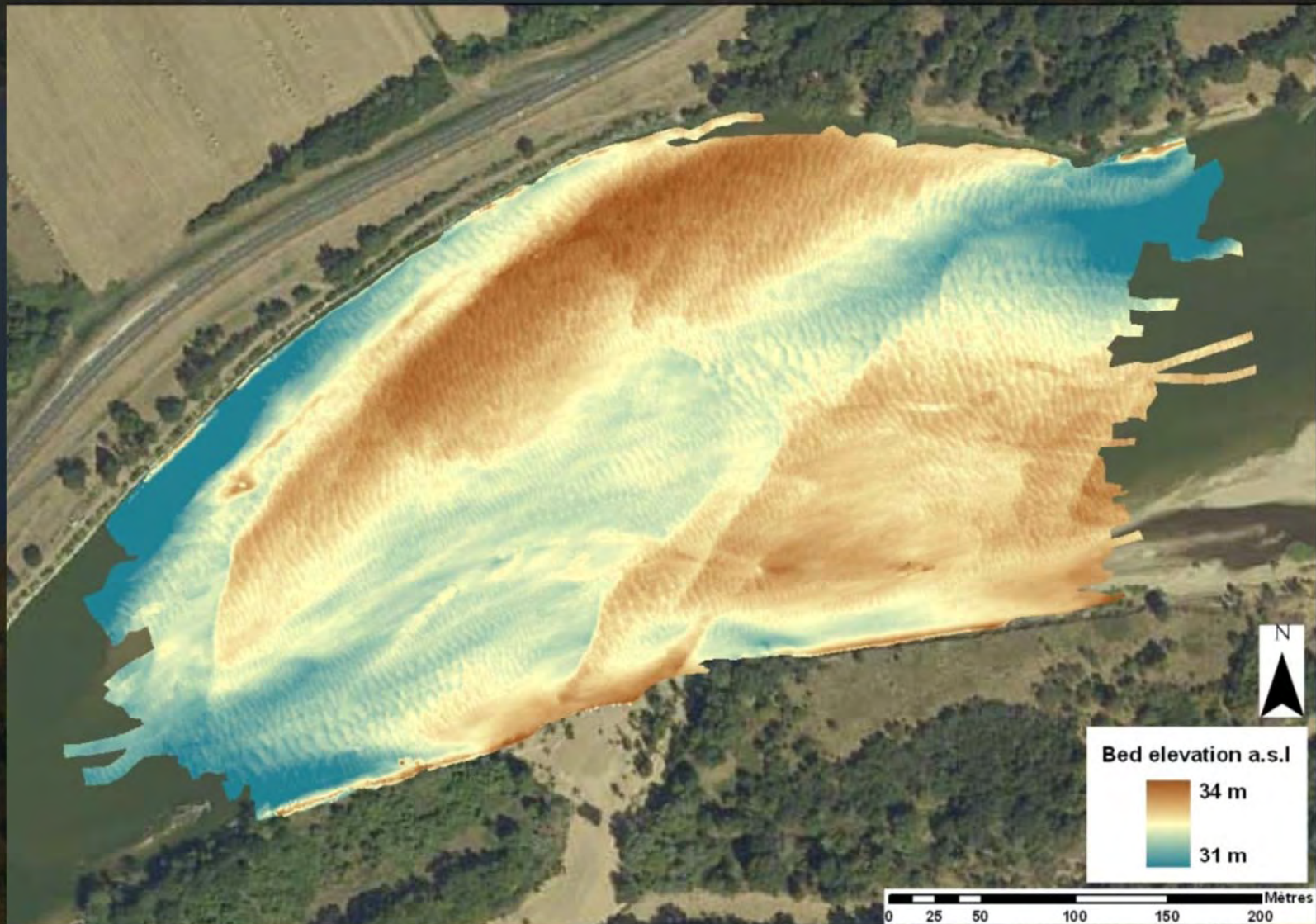




II.2. Matériels et méthodes

Chenal principal : Morphologie

- Bathymétrie mono et multi-faisceaux

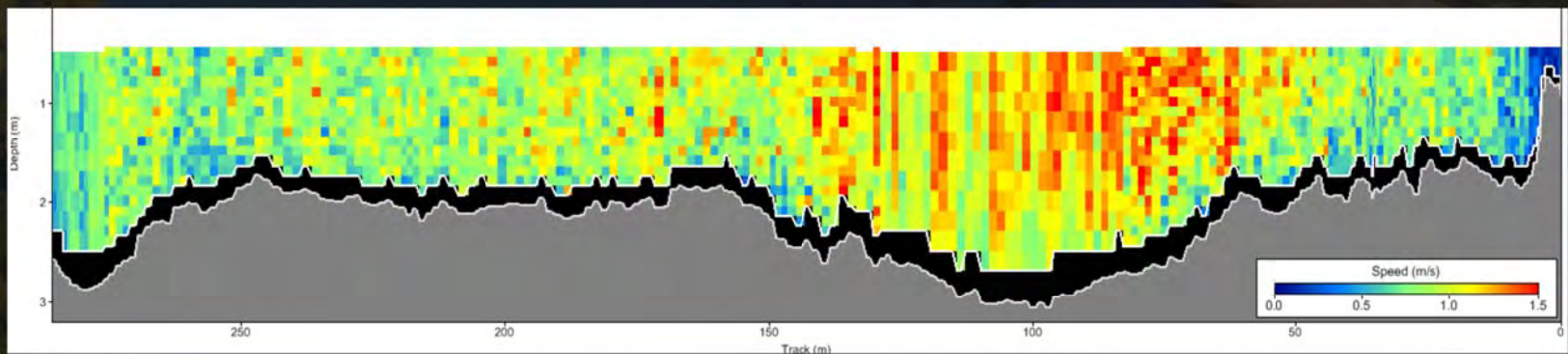


Chenal principal : Taux de transport



Chenal principal : Ecoulements

- Moulinet
- ADCP
- Niveaux d'eau

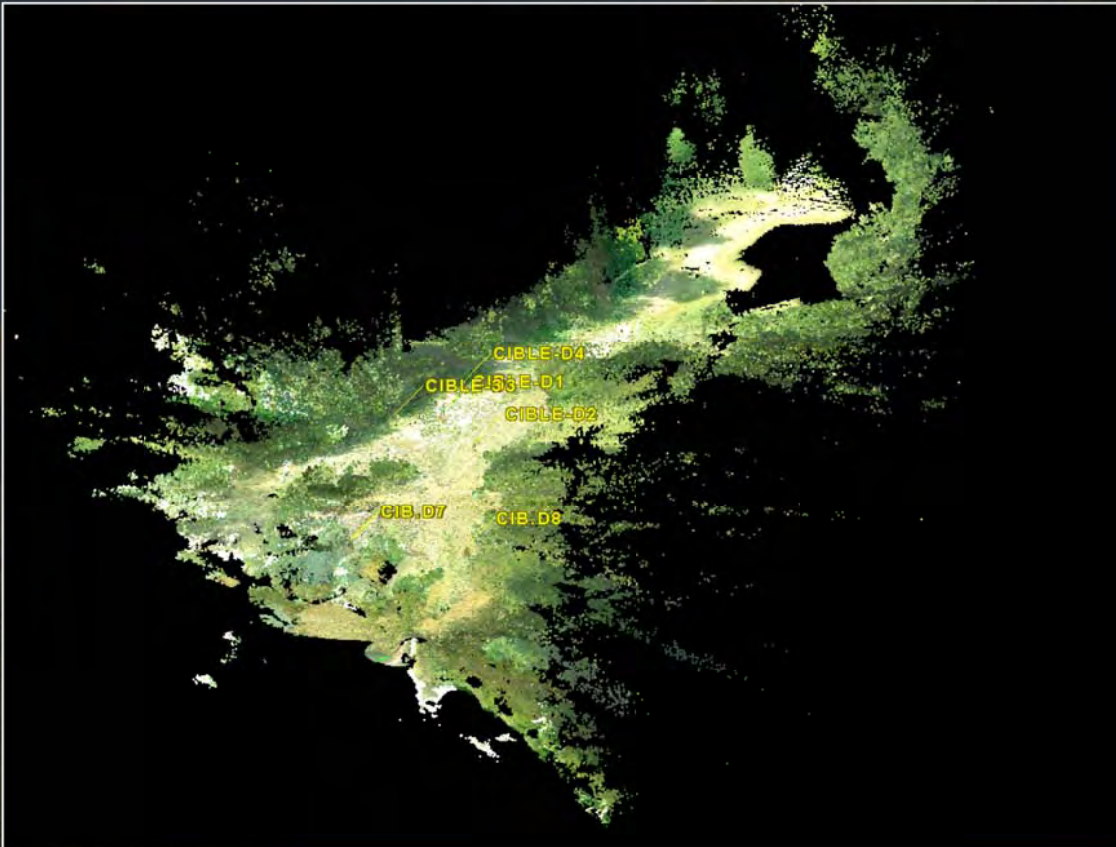


Chenaux secondaires

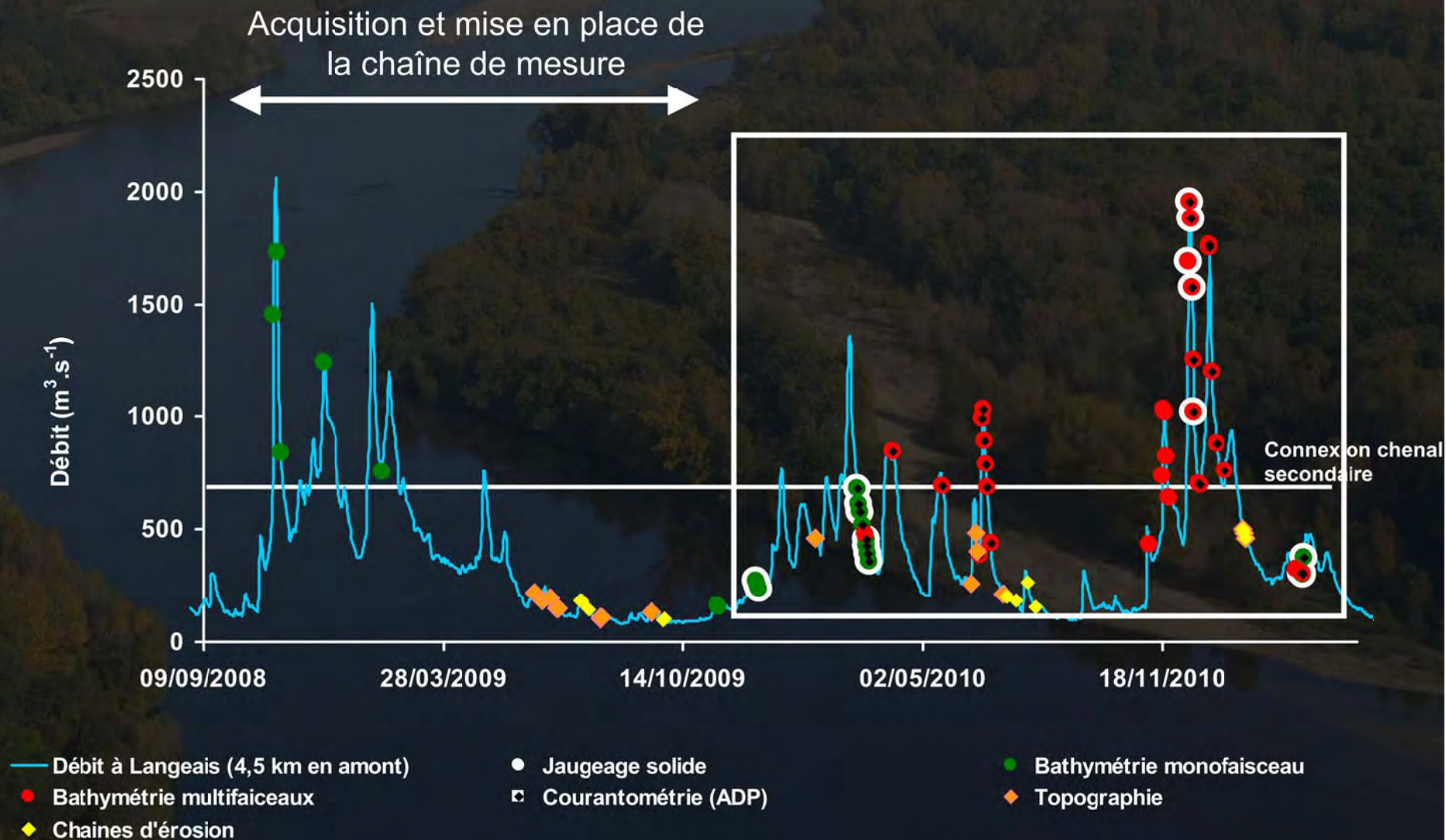
Topographie :

- Théodolite
- DGPS
- Laser scanner

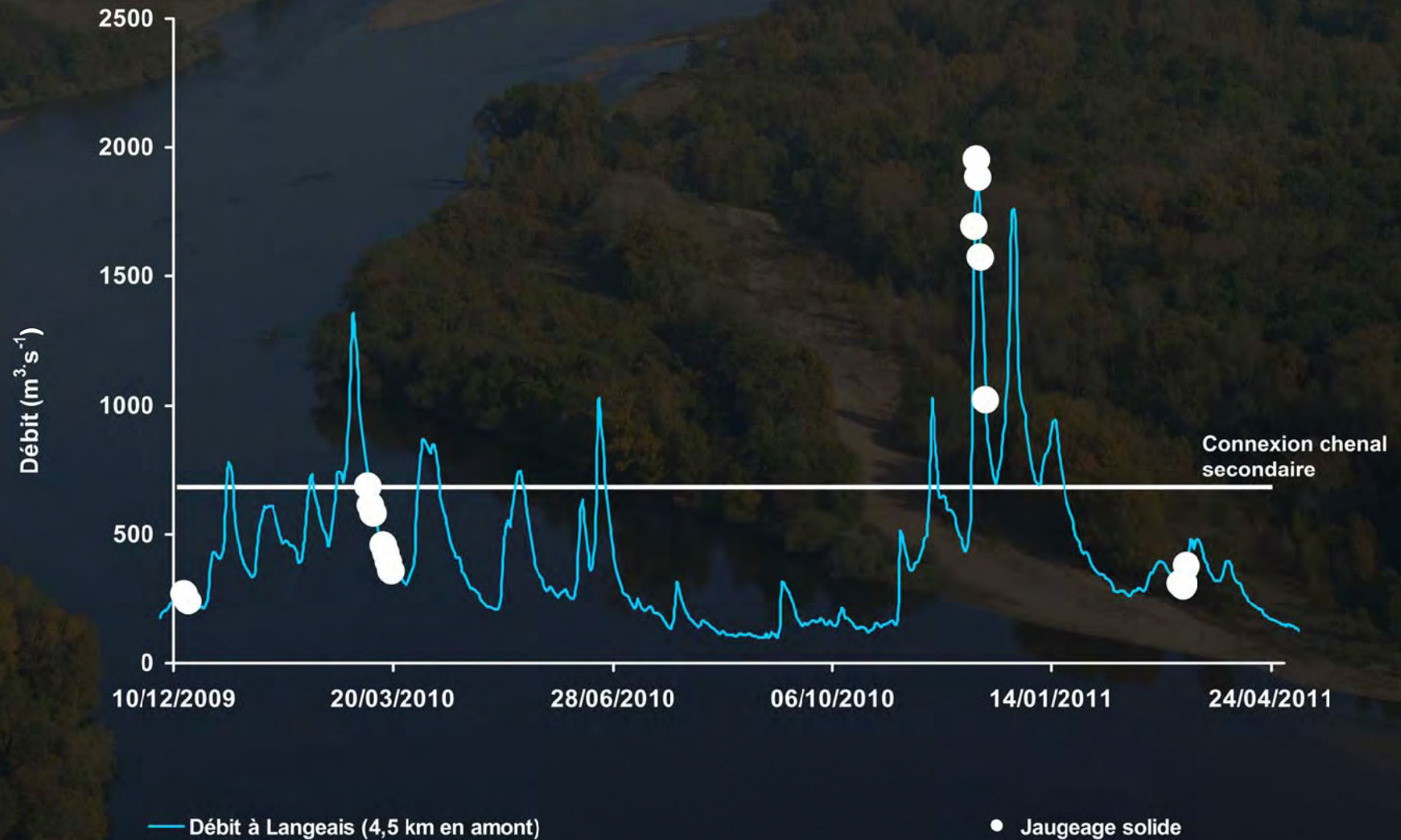
Chaînes d'érosion



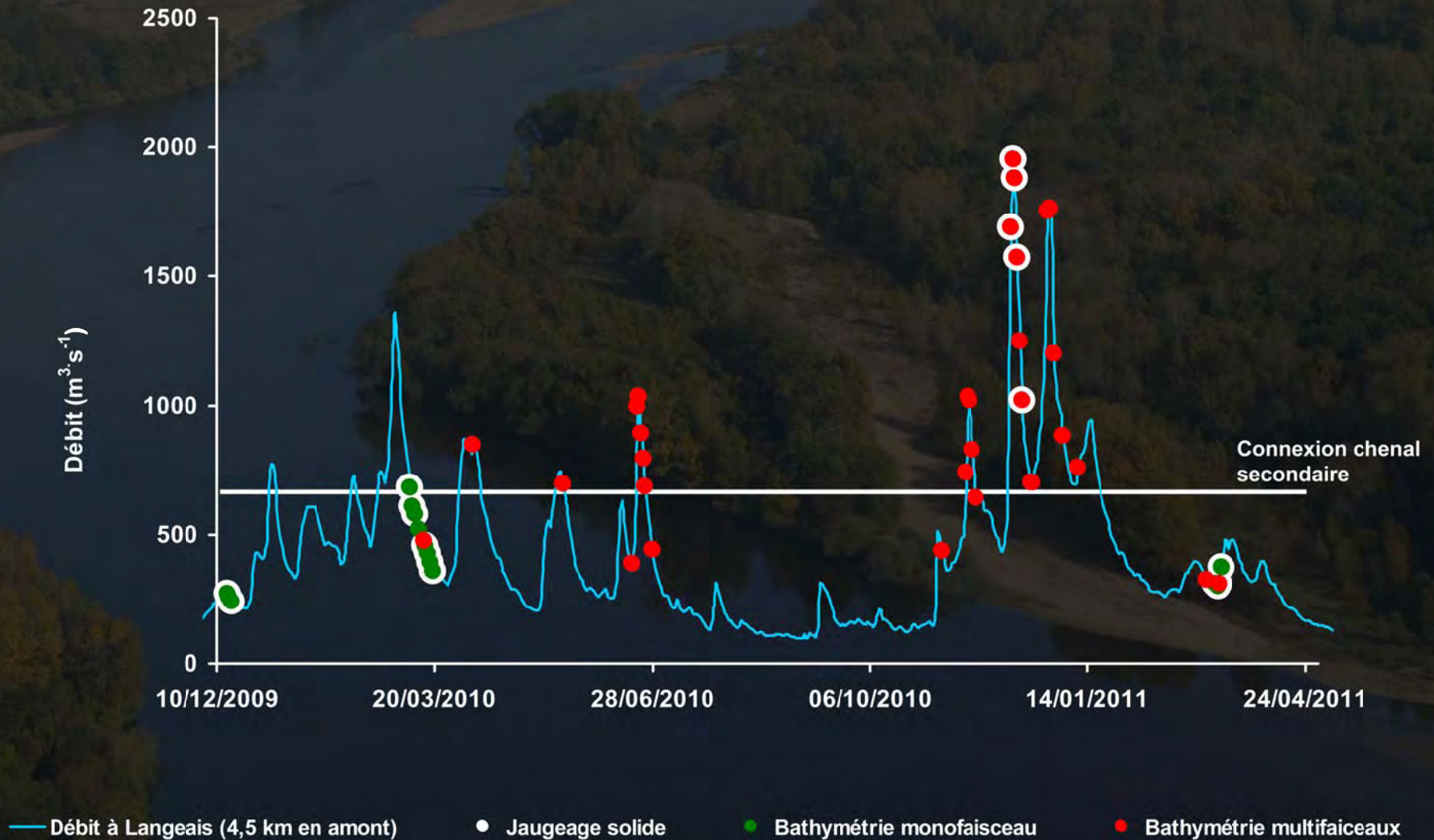
Acquisition des données



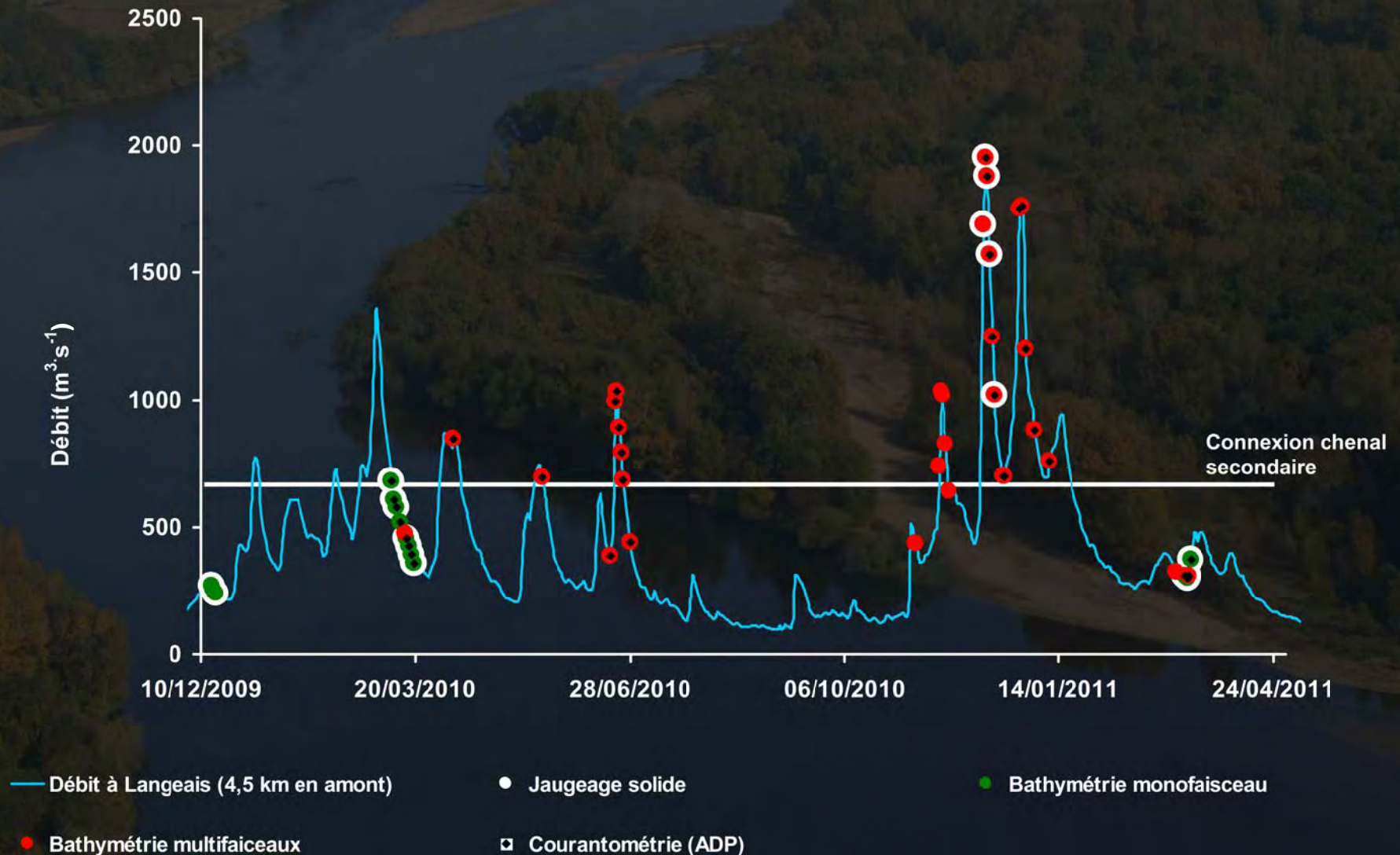
Acquisition des données en 2010



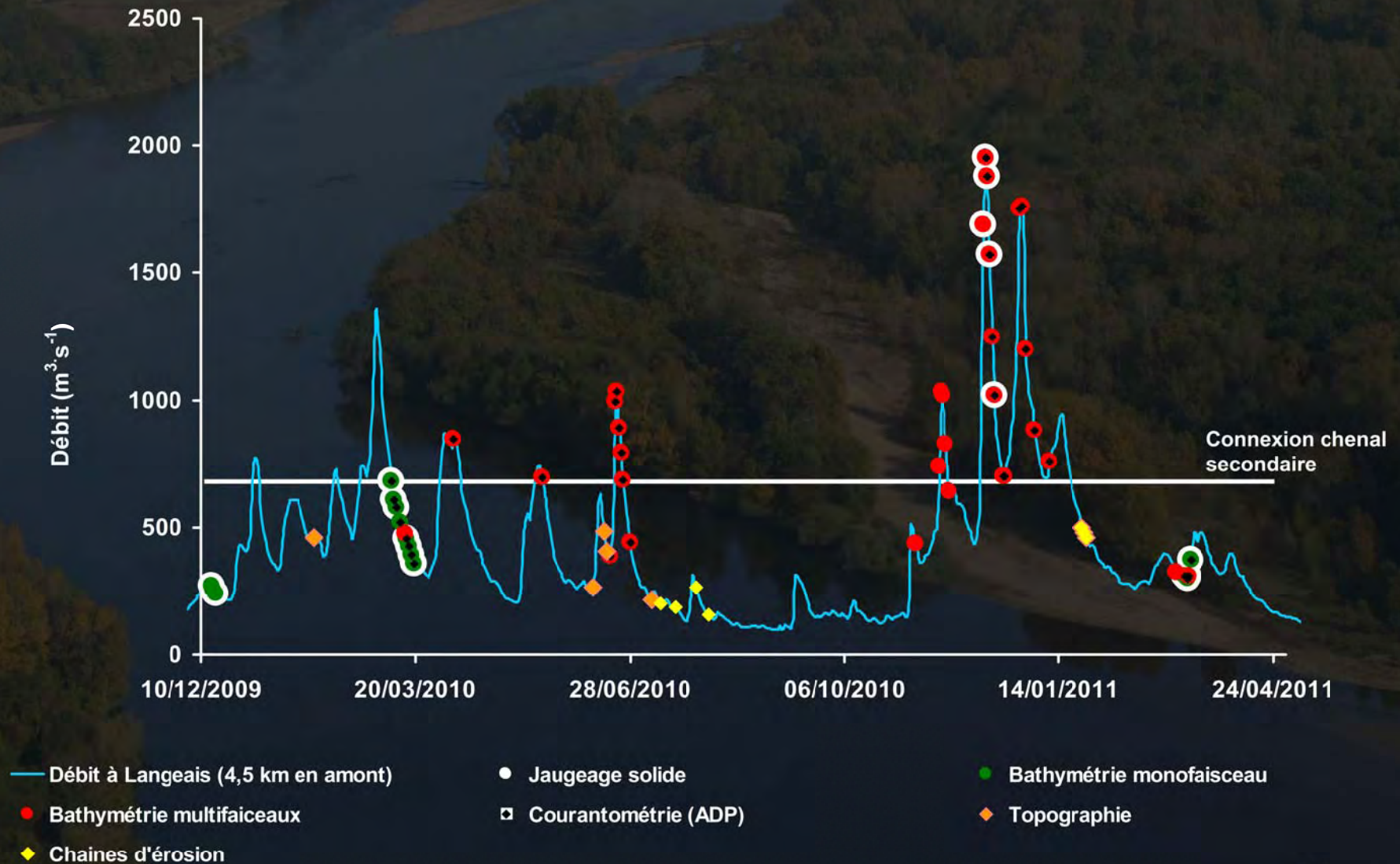
Acquisition des données en 2010



Acquisition des données en 2010



Acquisition des données en 2010





III. Résultats et discussion

A photograph of a red and white tugboat on a river, likely the Loire. The boat is moving towards the left, leaving a wake. In the background, there is a line of trees on a hill under a blue sky with scattered clouds. A semi-transparent white rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the text 'III.1. Estimation du charriage en Loire moyenne'.

III.1. Estimation du charriage en Loire moyenne

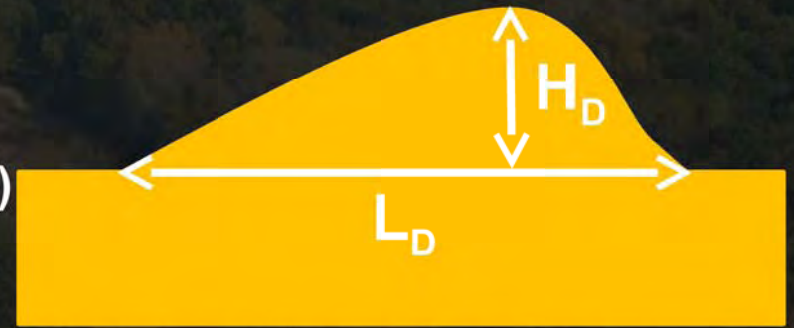
Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

- **Mesures directes avec des échantillonneurs iso-cinétiques**

Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

- Mesures directes avec des échantillonneurs iso-cinétiques
- Méthodes indirectes
 - *Dune tracking* = Simons et al. (1965)

$$q_{DT} = \rho_s \varepsilon \beta c_D H_D$$



Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

- Mesures directes avec des échantillonneurs iso-cinétiques

- Méthodes indirectes

- *Dune tracking* = Simons et al. (1965)

$$q_{DT} = \rho_s \varepsilon \beta c_D H_D$$

- Equations empiriques :

- Van Rijn (1984, 1993) :

$$q_{DT} = \rho_s \varepsilon \beta c_D H_D$$

- Meyer-Peter and Müller (1948) :

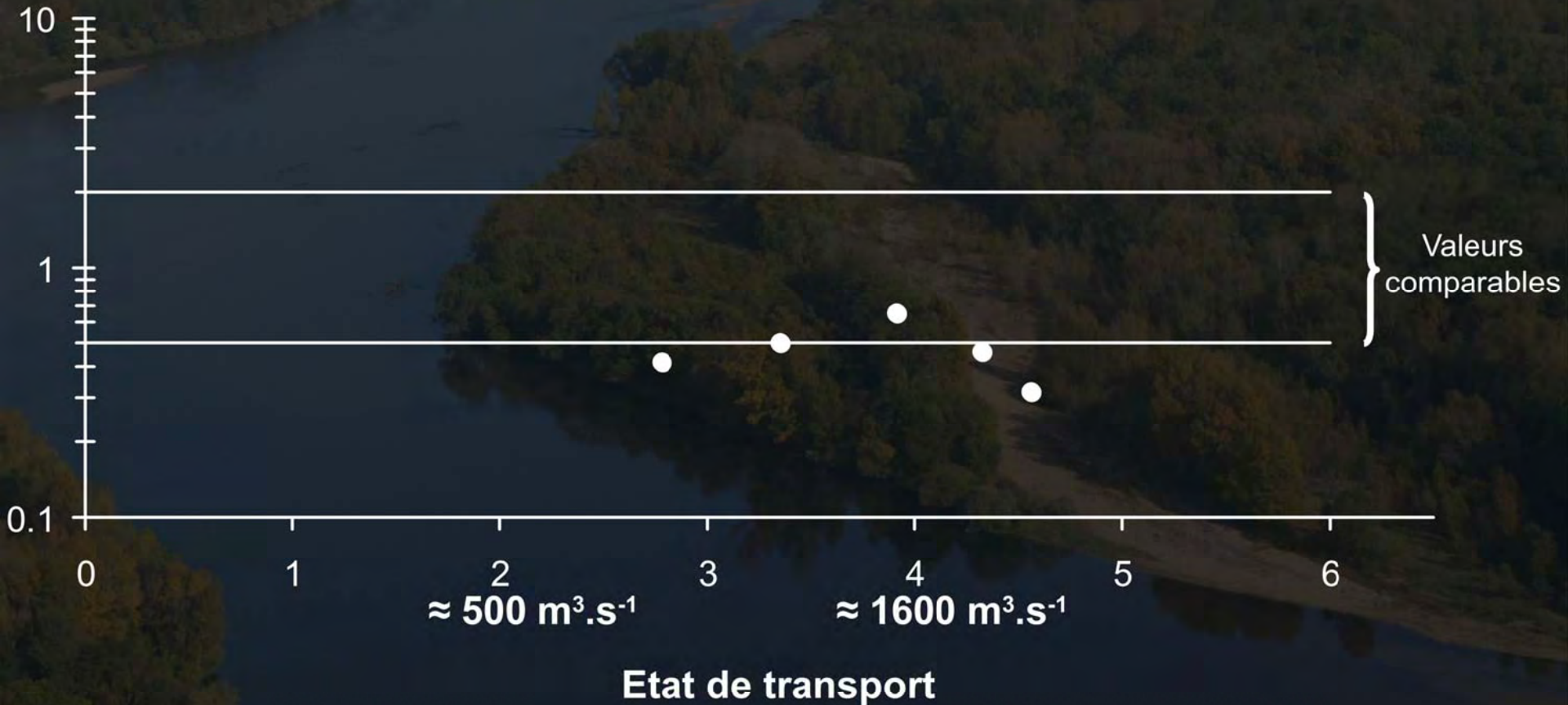
$$q_{DT} = \rho_s \varepsilon \beta c_D H_D$$



Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

● Dune tracking/Jaugeage solide

Ratio d'erreur



Claude *et al.*, 2012

Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

- Dune tracking/Jaugeage solide
- Van Rijn/Jaugeage solide

Ratio d'erreur

$$T = \frac{\left(u'^*\right)^2 - \left(u^*_{cr}\right)^2}{\left(u^*_{cr}\right)^2}$$

} Valeurs comparables

$\approx 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ $\approx 1600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Etat de transport

$$T = \frac{(u'^*)^2 - (u^*_{cr})^2}{(u^*_{cr})^2}$$

Comparaison de méthodes d'estimation du charriage

Ratio d'erreur

- Dune tracking/Jaugeage solide
- Van Rijn/Jaugeage solide
- MPM/Jaugeage solide

$$T = \frac{(u'^*)^2 - (u_{cr}^*)^2}{(u_{cr}^*)^2}$$

Valeurs comparables

Estimation possible du charriage à partir de mesures ADCP

$\approx 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$\approx 1600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Etat de transport

$$T = \frac{(u'^*)^2 - (u_{cr}^*)^2}{(u_{cr}^*)^2}$$

Détermination d'une relation débit liquide – taux de charriage

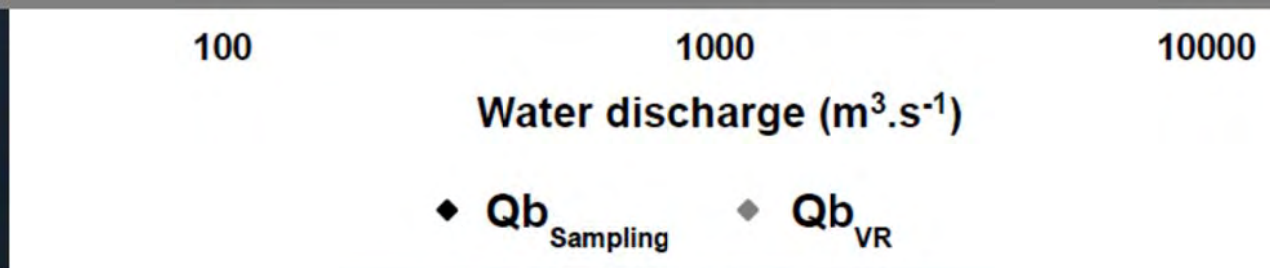



Charriage annuel en 2010 : 480 000 t

Berthois (1971) : Charriage annuel : 250 000 t

Transport total annuel : 1 000 000 t

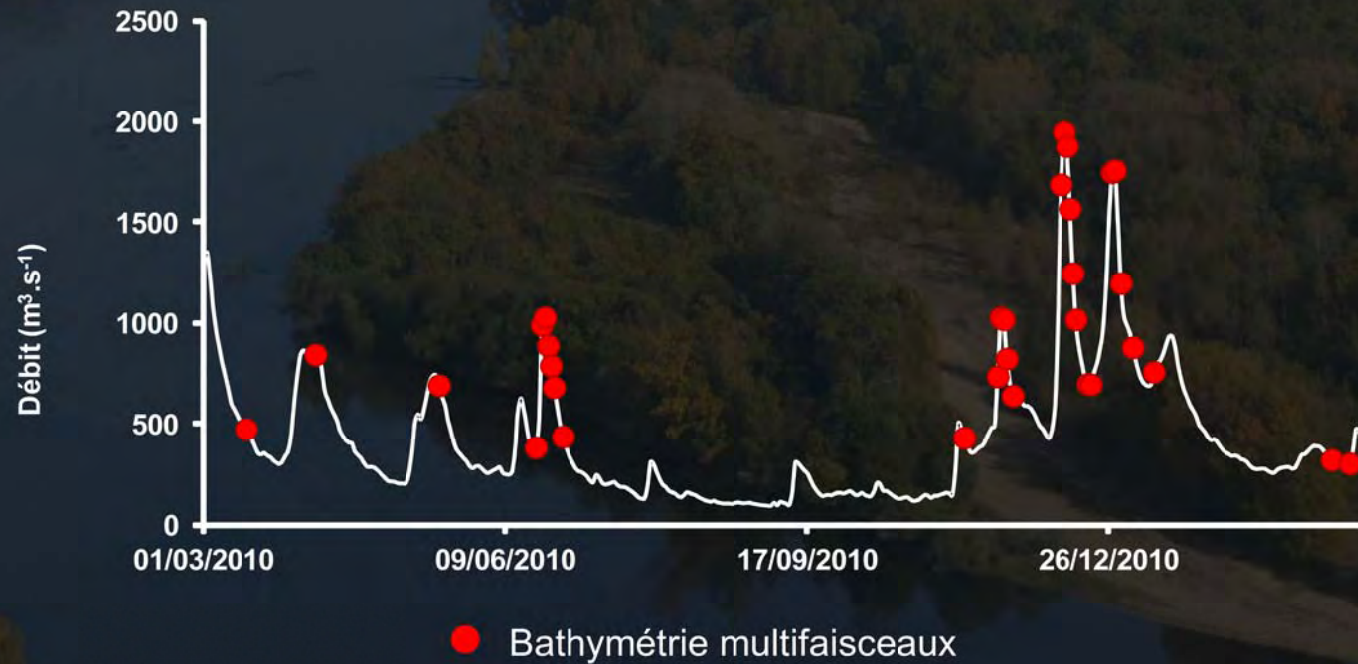
Pons (2000) : Transport total annuel : 1 200 000 t



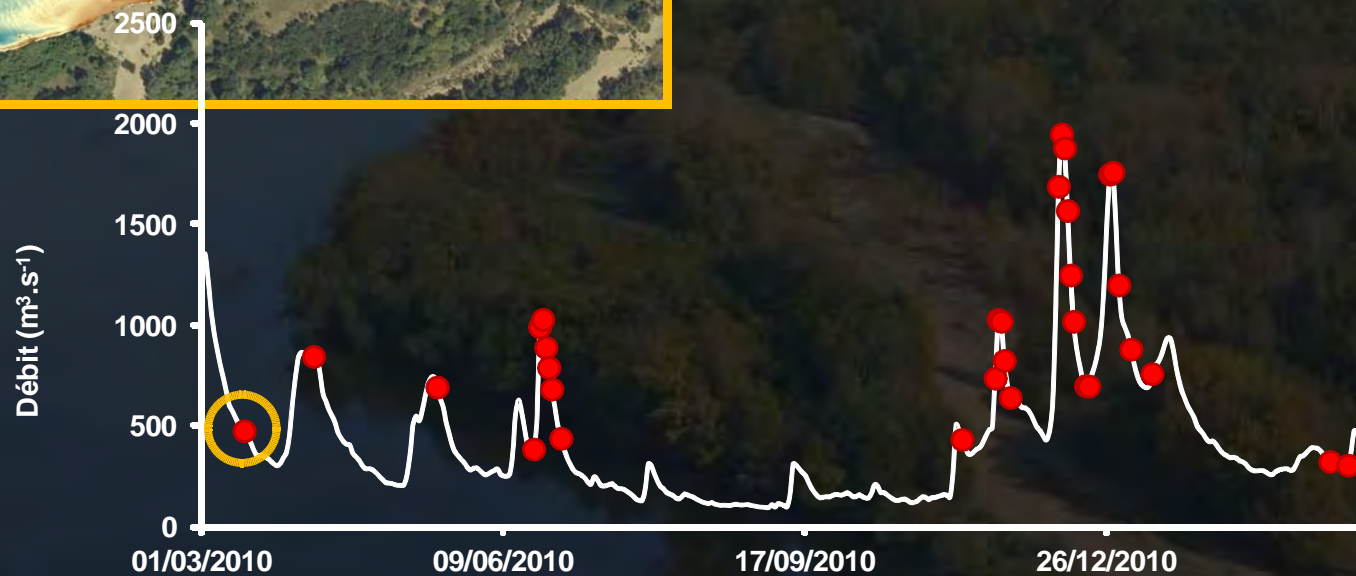
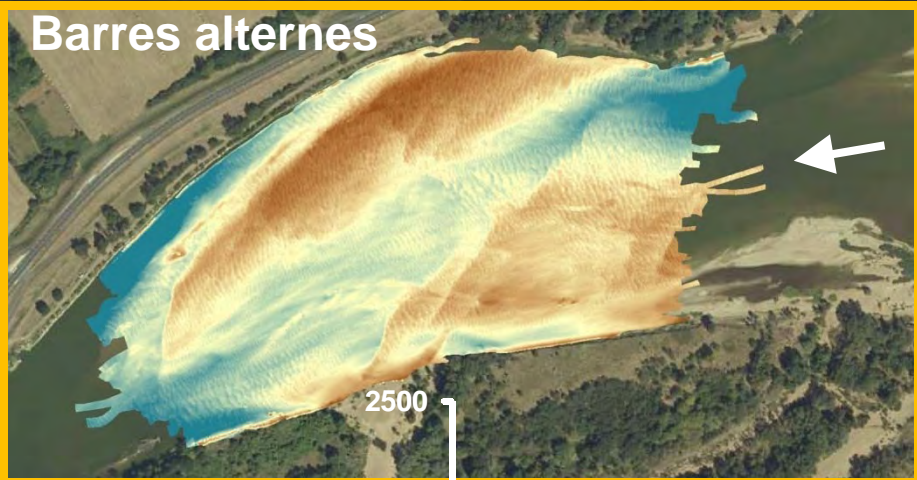
An aerial photograph showing a wide river with a sharp bend. The river is surrounded by lush green forests and agricultural fields. In the lower-left corner, a small village with several white buildings and a church is visible. The text 'III.2. Evolution morphologique des barres' is overlaid on a semi-transparent white box in the center of the image.

III.2. Evolution morphologique des barres

Configurations morphologiques des barres



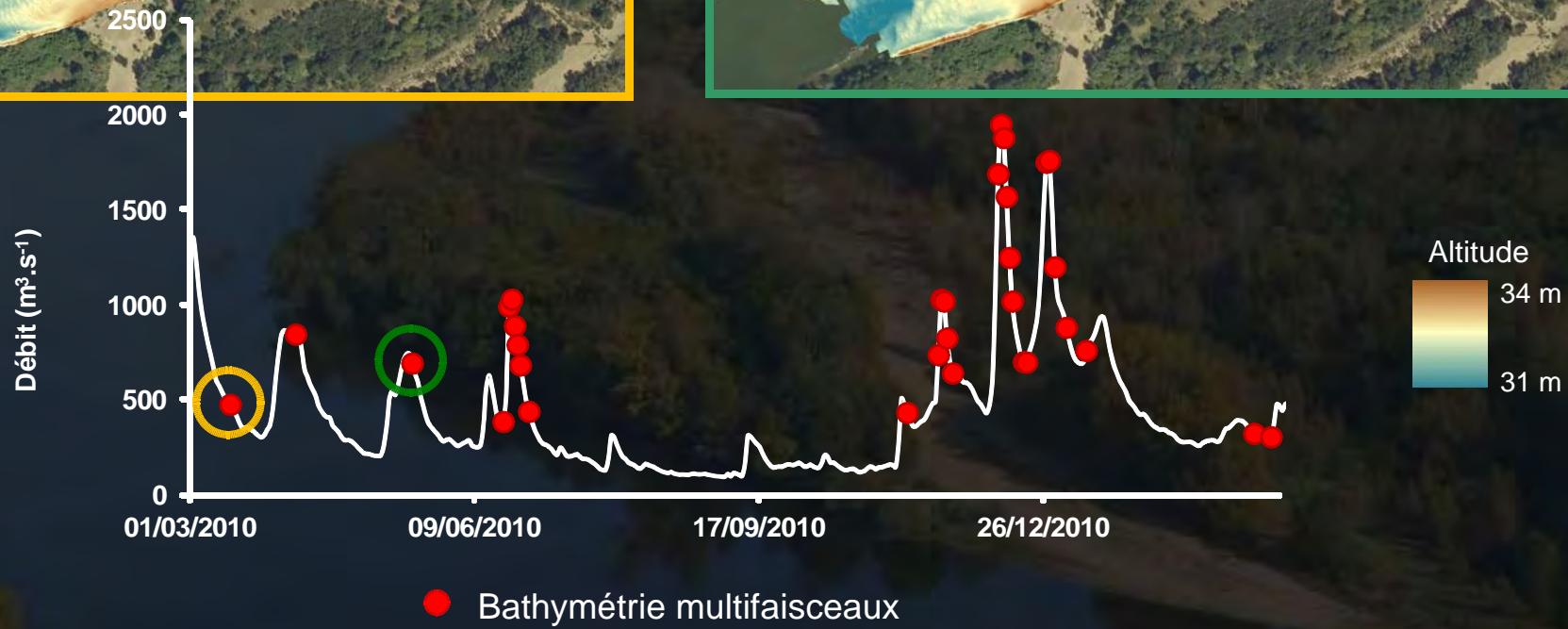
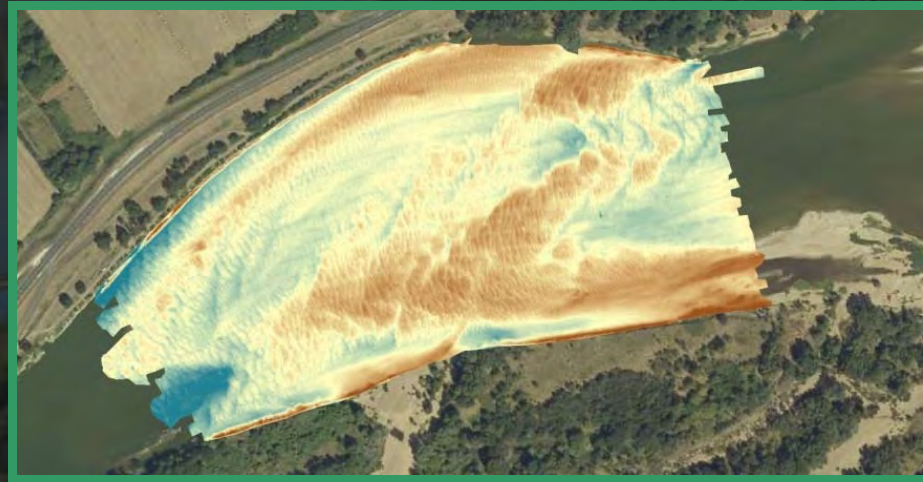
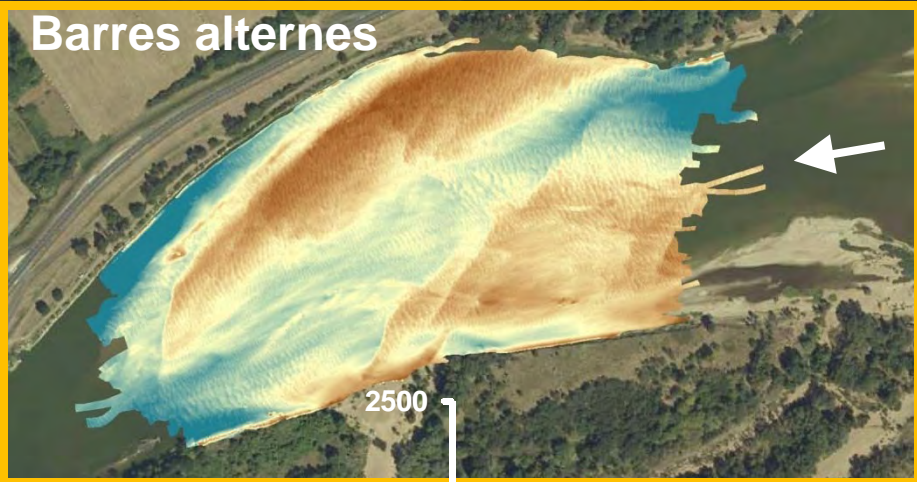
Barres alternes



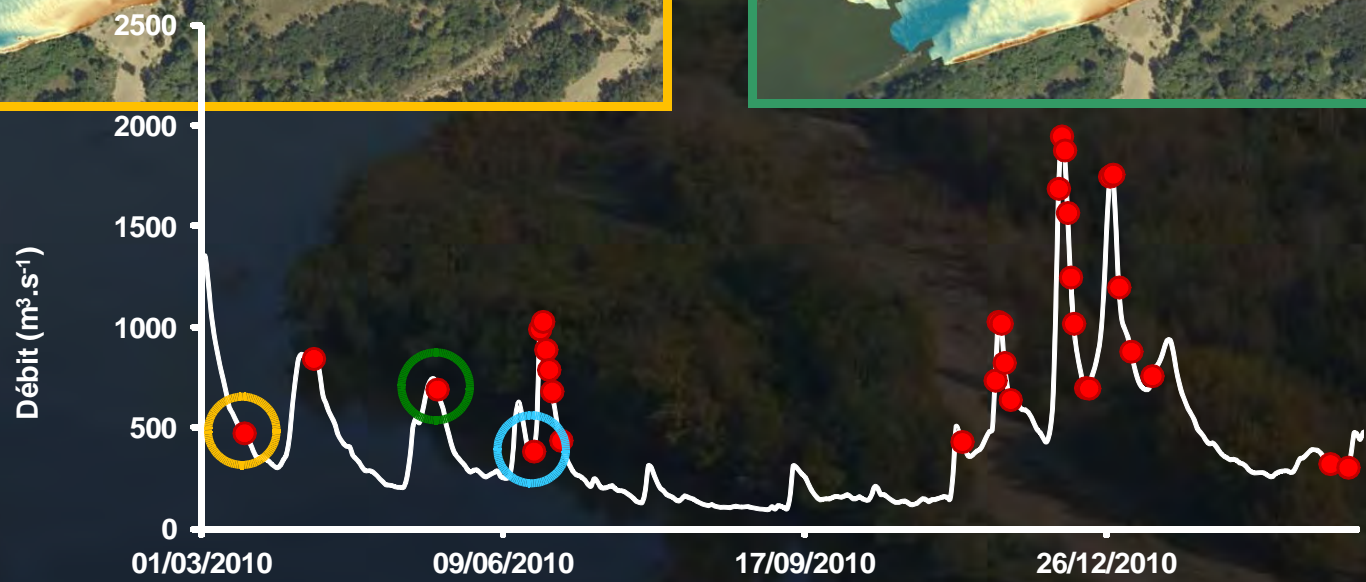
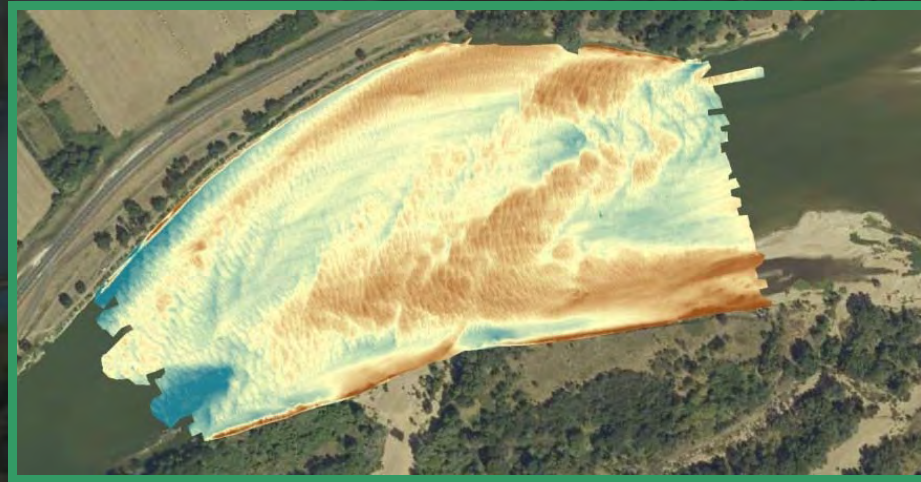
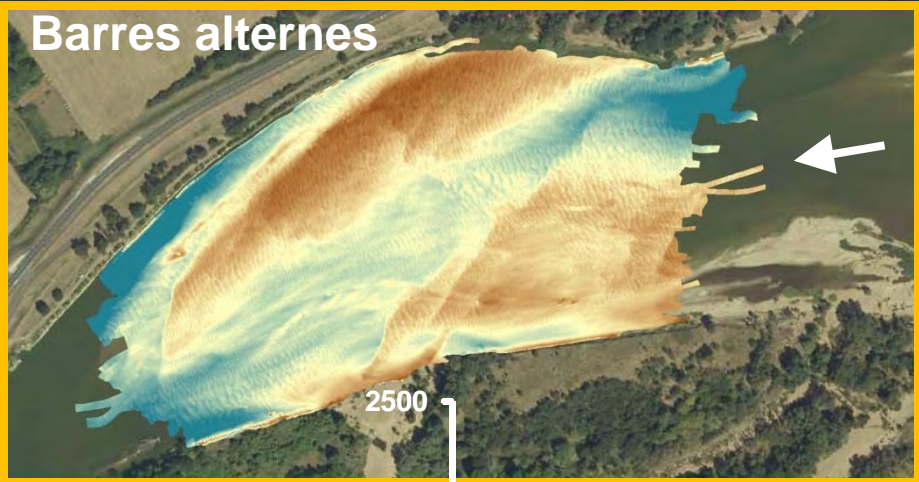
● Bathymétrie multifaisceaux

Altitude
34 m
31 m

Barres alternes

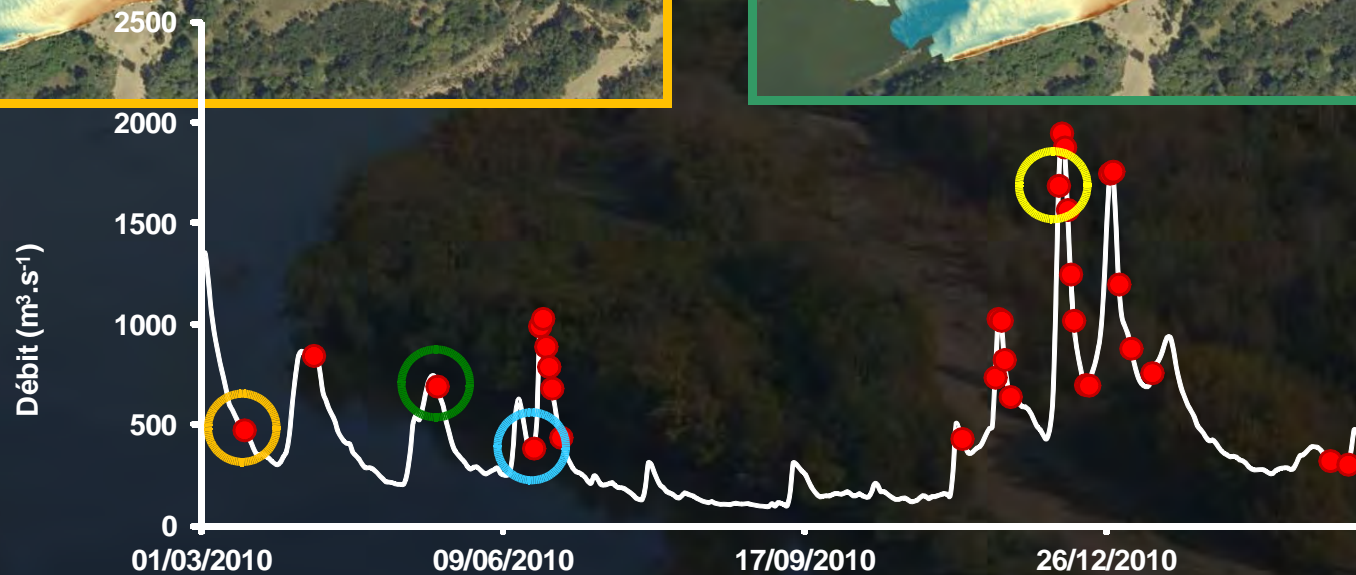
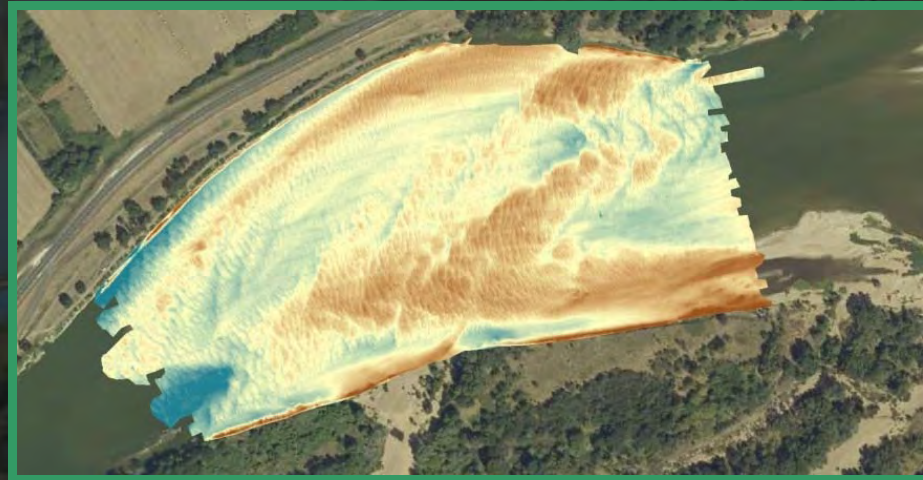
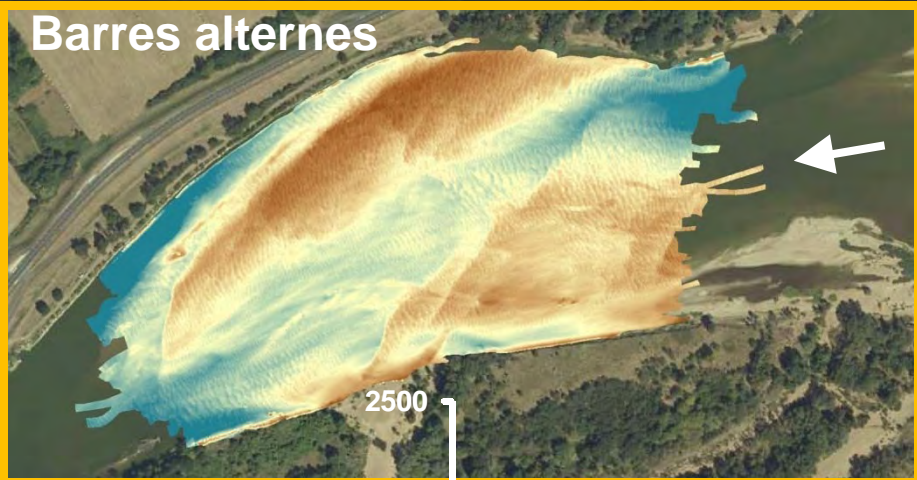


Barres alternées



Barre transversale

Barres alternes



Conclusions : Evolution morphologique des barres

- Evolution morphologique du lit conditionnée par la migration des barres sédimentaires
- Barres très mobiles

➤ Forte mobilité des sédiments ($\theta' = 0,10$ à $386 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$)

$$\theta' = \frac{\bar{u}^{-2}}{C'^2 (s-1) D_{50}}$$

$$\theta' = \frac{\bar{u}^{-2}}{C'^2 (s-1) D_{50}}$$

θ' : Contrainte de cisaillement adimensionnelle de grain

\bar{u} : Vitesse moyenne

C' : Facteur de friction de Chézy

s : densité relative des sédiments

d : Profondeur d'eau

ks' : Rugosité de grain de Nikuradse ($= D_{90}$)

Conclusions : Evolution morphologique des barres

Débit = $280 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

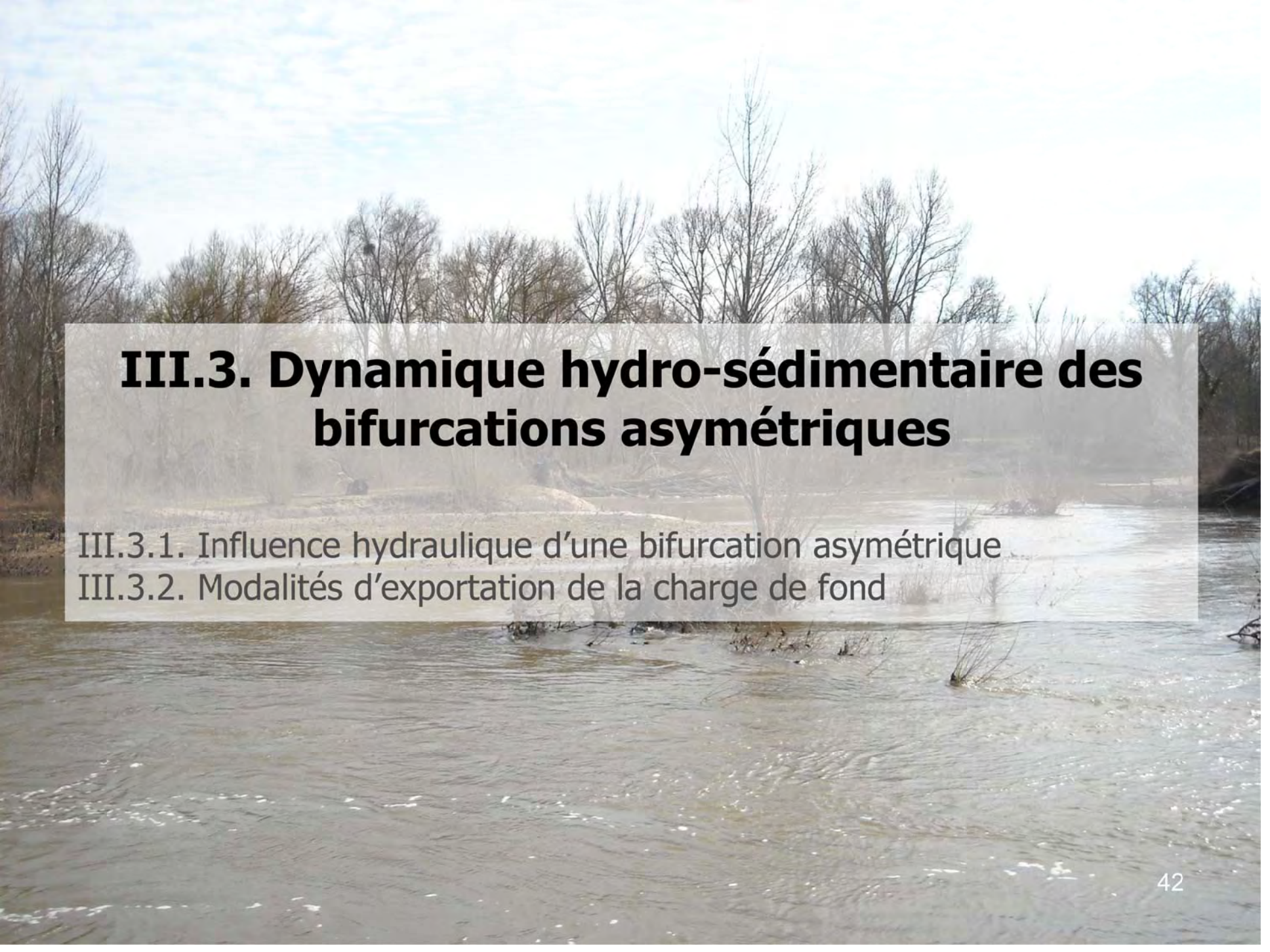
$Q < 280 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ 40 % de l'année 2010

↑
2,5 cm
↓

Influence importante des
bas et moyens débits sur
évolution du lit

Source : Philippe Jugé





III.3. Dynamique hydro-sédimentaire des bifurcations asymétriques

III.3.1. Influence hydraulique d'une bifurcation asymétrique

III.3.2. Modalités d'exportation de la charge de fond

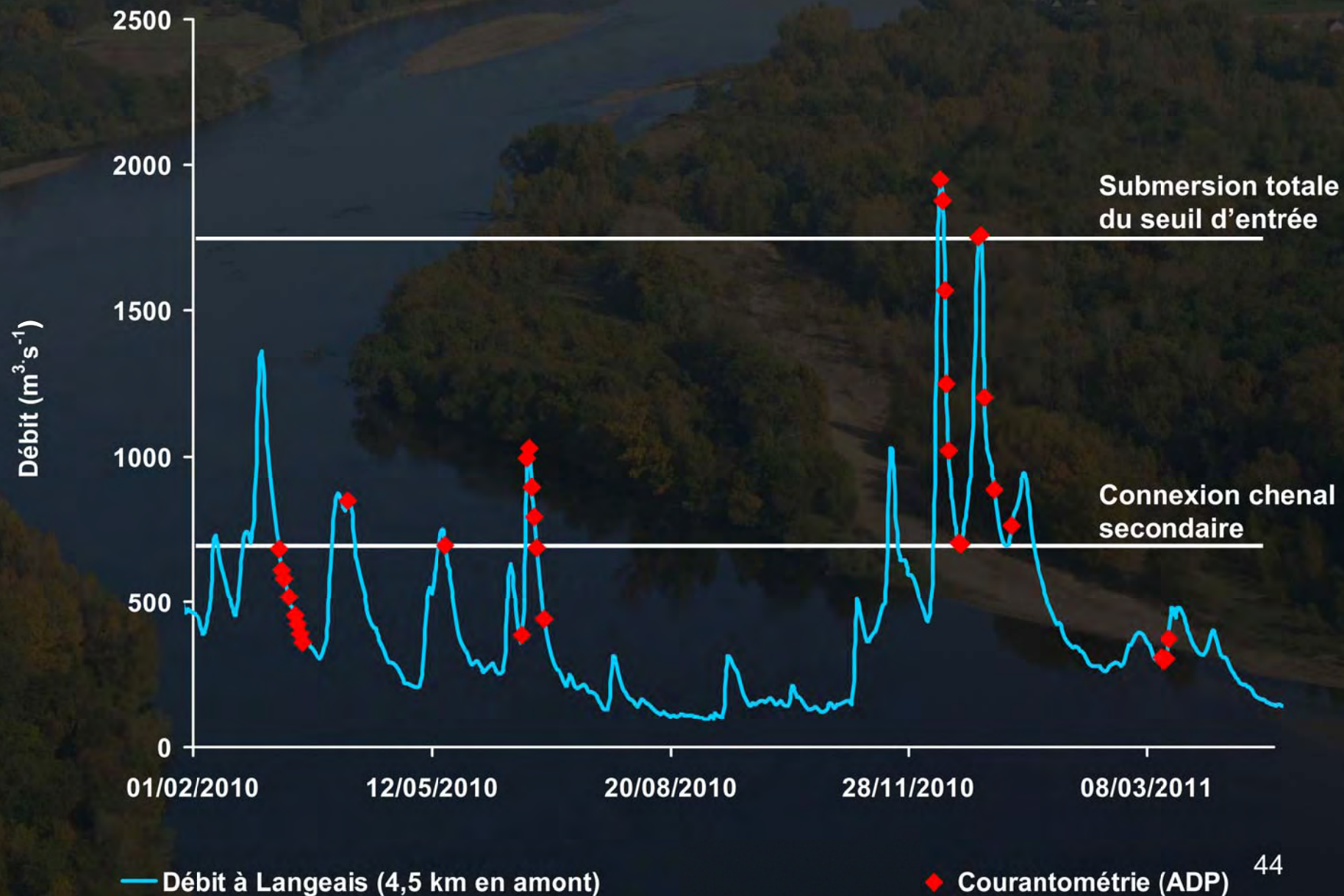


III.3. Dynamique hydro-sédimentaire des bifurcations asymétriques

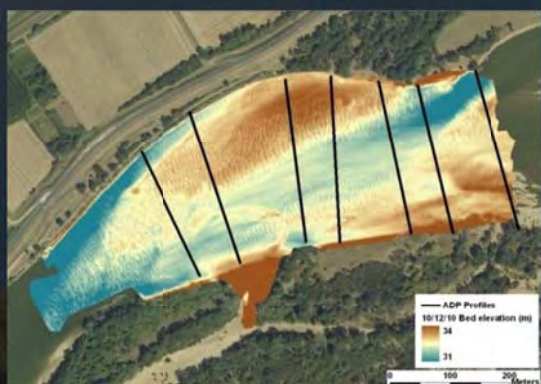
III.3.1. Influence hydraulique d'une bifurcation asymétrique

III.3.2. Modalités d'exportation de la charge de fond

Mesures courantométriques en 2010



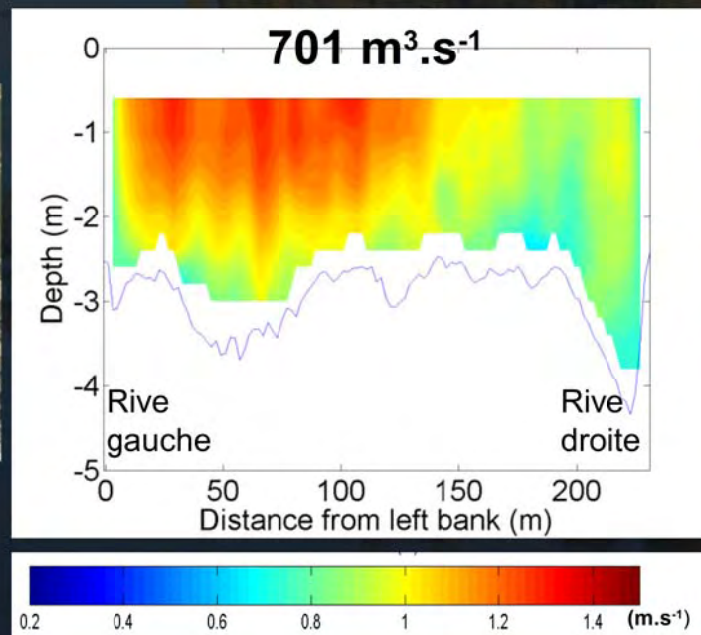
Accélération des écoulements



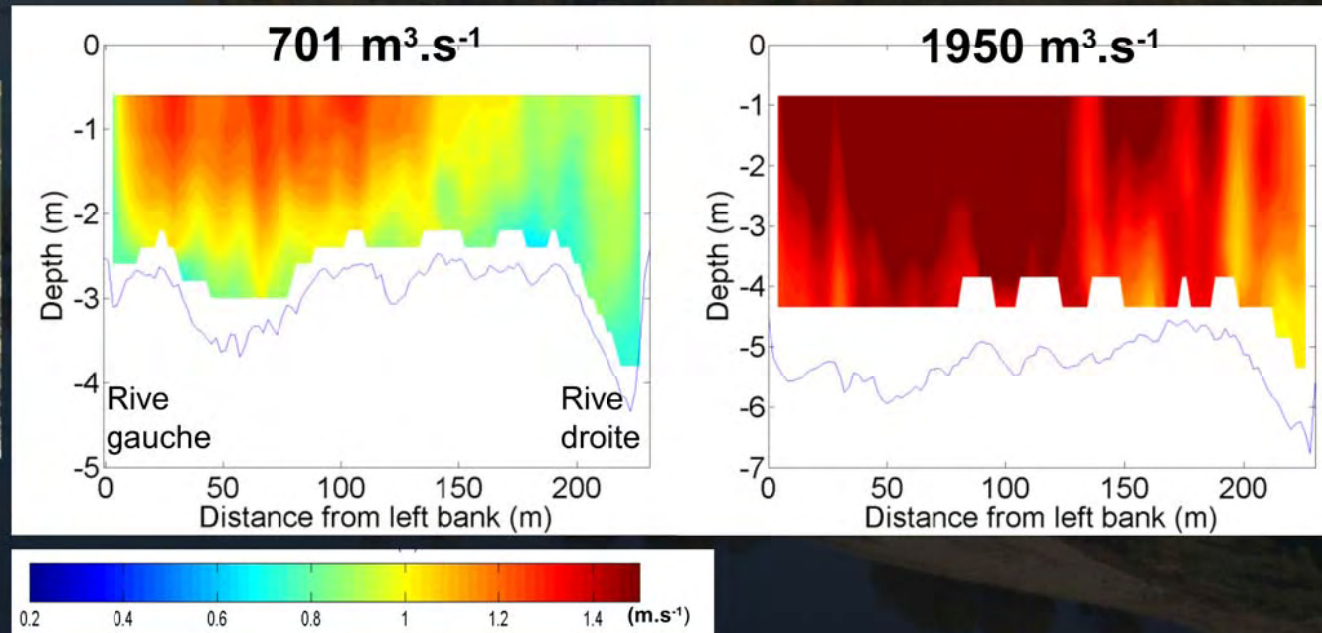
Accélération des écoulements



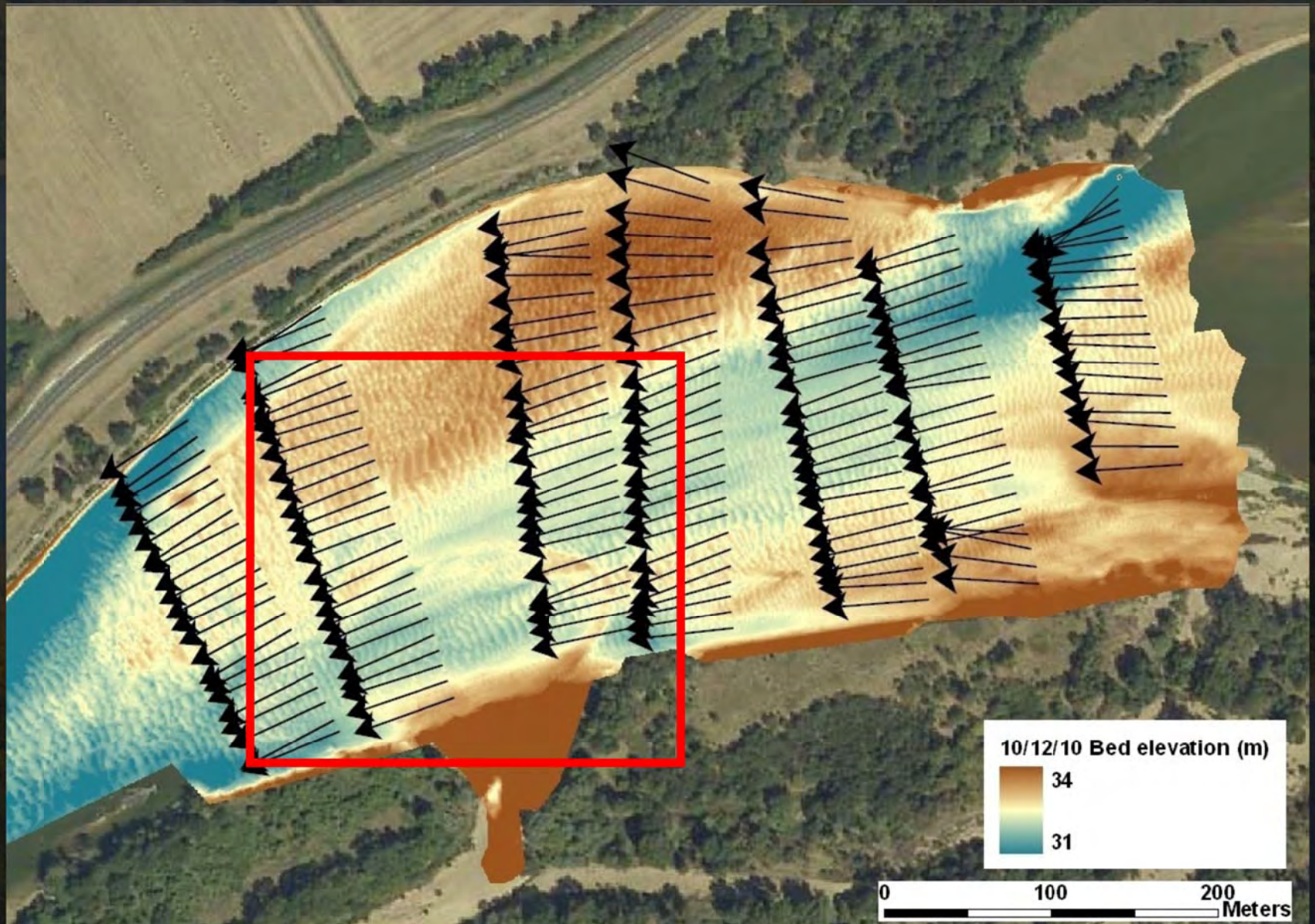
Accélération des écoulements



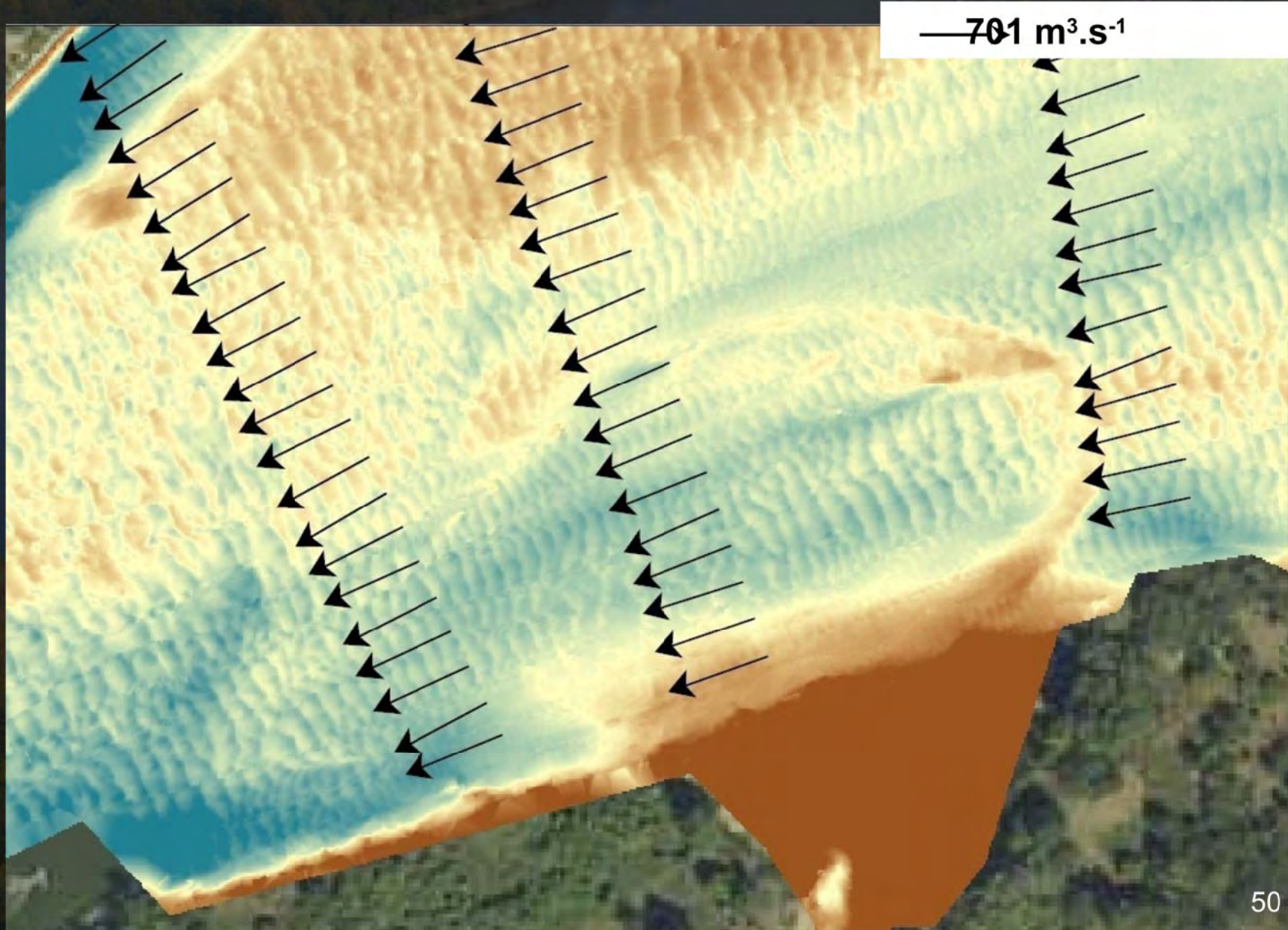
Accélération des écoulements



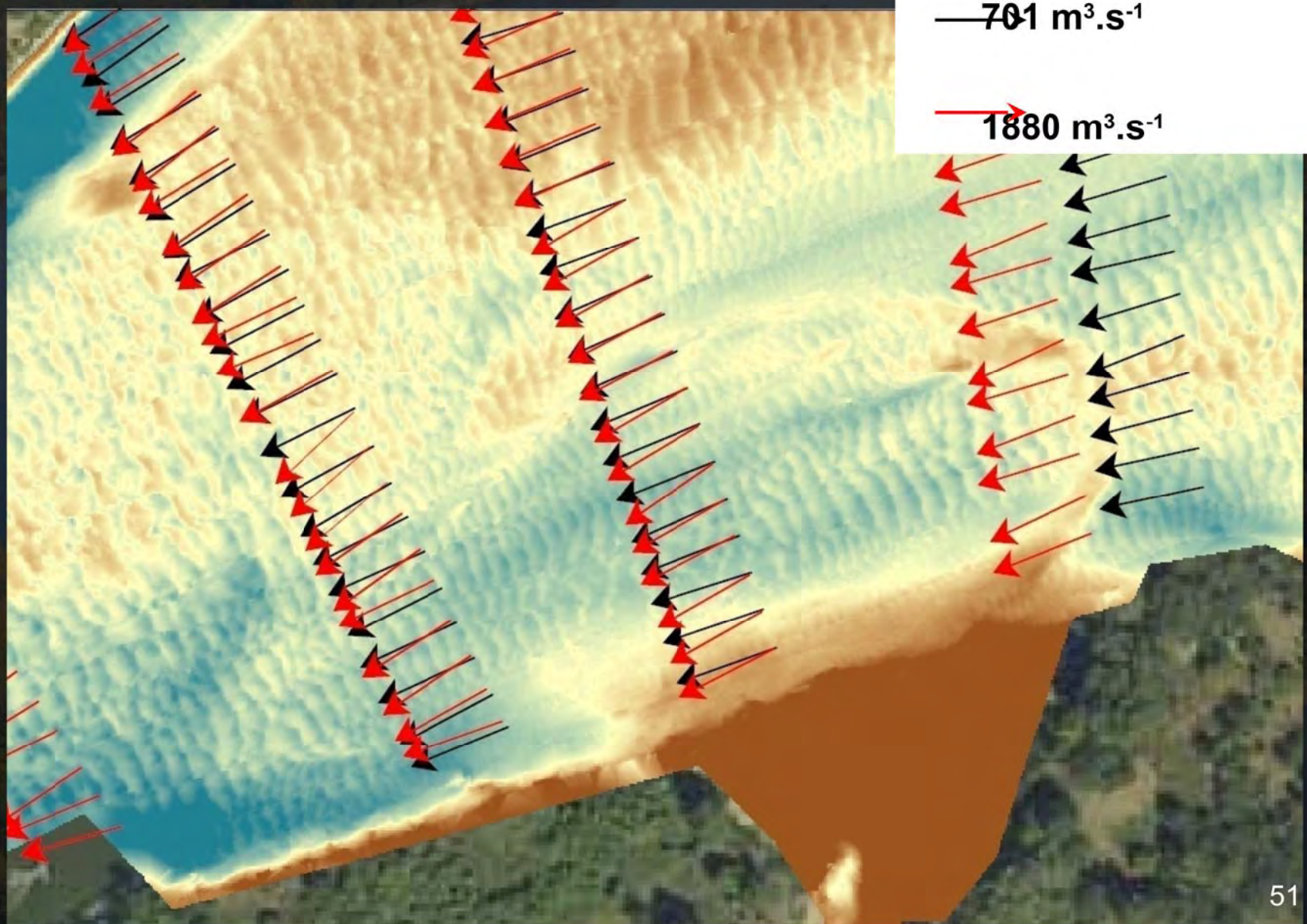
Direction des écoulements



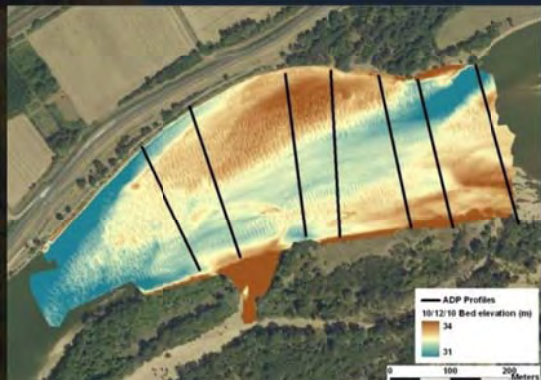
Direction des écoulements



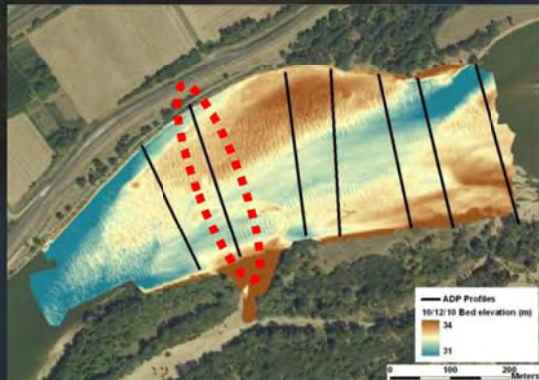
Direction des écoulements



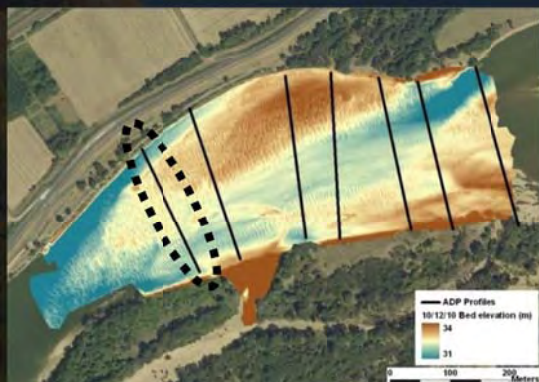
Formations de courants secondaires



Formations de courants secondaires

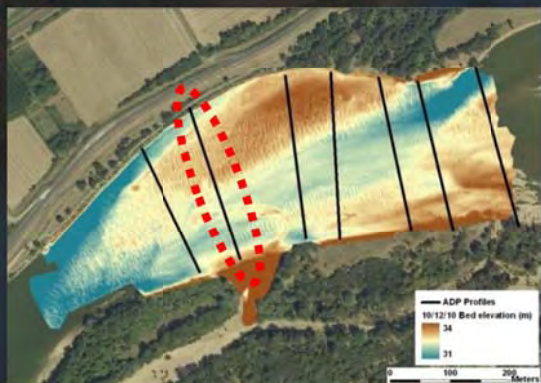


Devant entrée
chenal secondaire

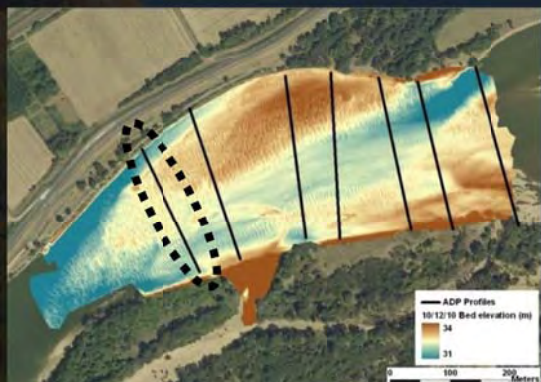
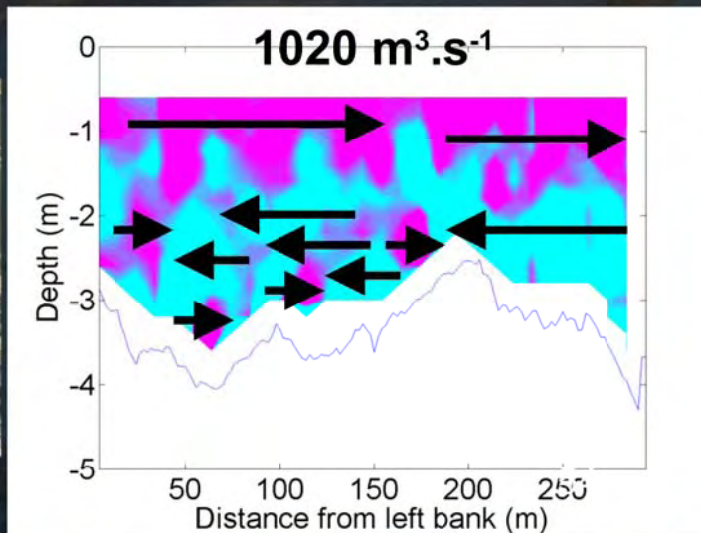


Aval entrée chenal
secondaire

Formations de courants secondaires

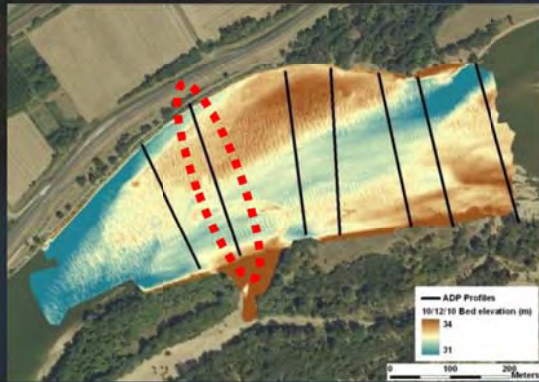


Devant entrée
chenal secondaire

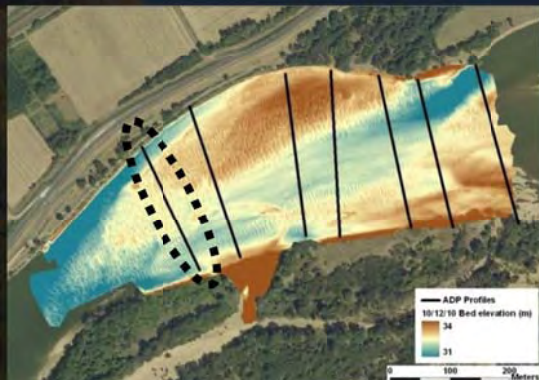
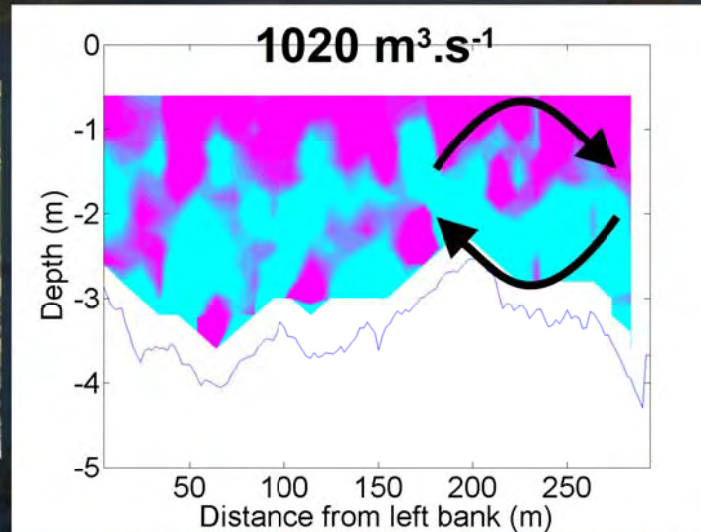


Aval entrée chenal
secondaire

Formations de courants secondaires

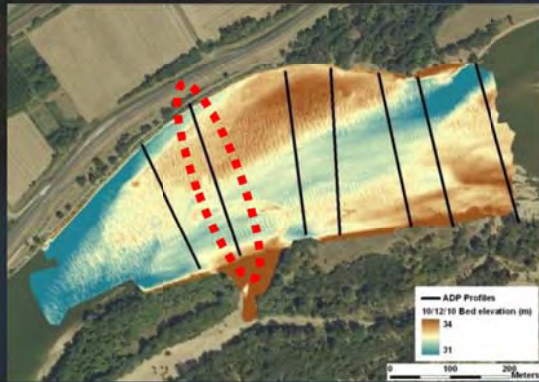


Devant entrée
chenal secondaire

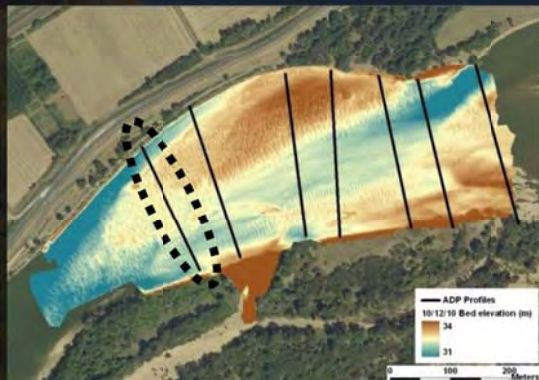
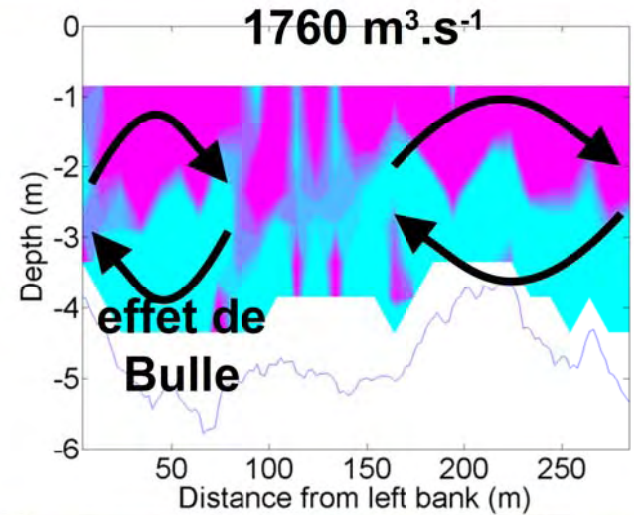
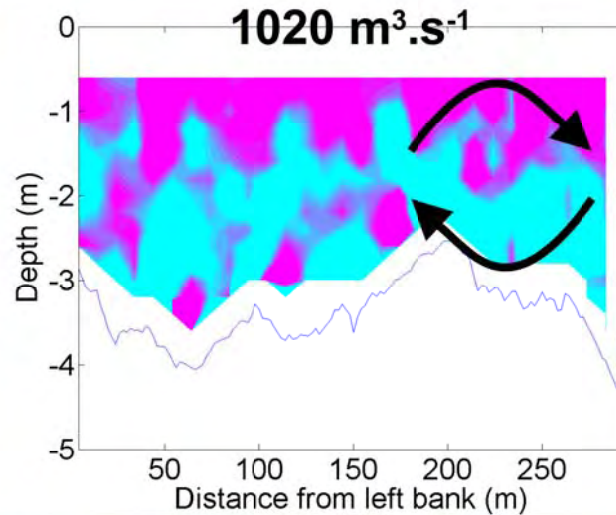


Aval entrée chenal
secondaire

Formations de courants secondaires

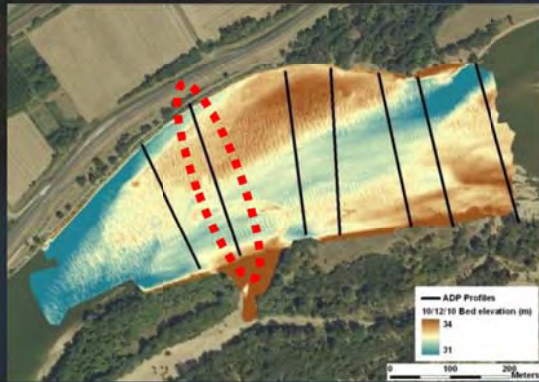


Devant entrée
chenal secondaire

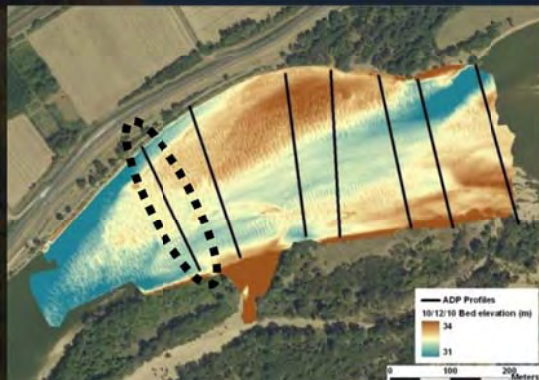
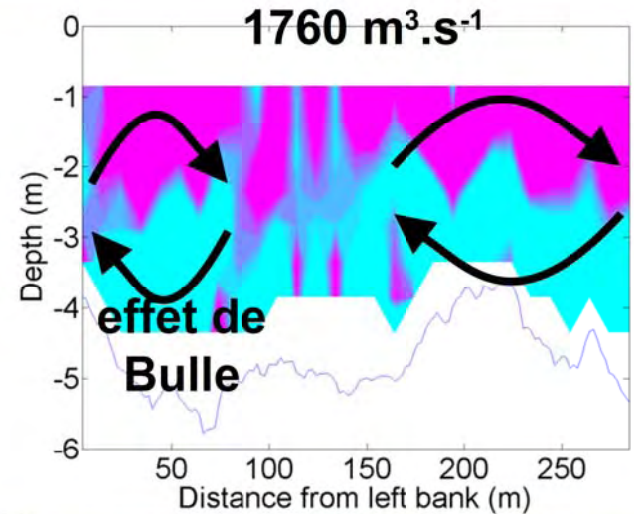
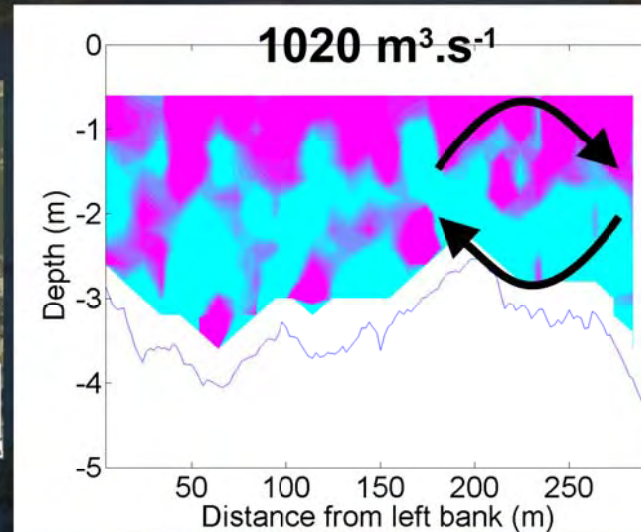


Aval entrée chenal
secondaire

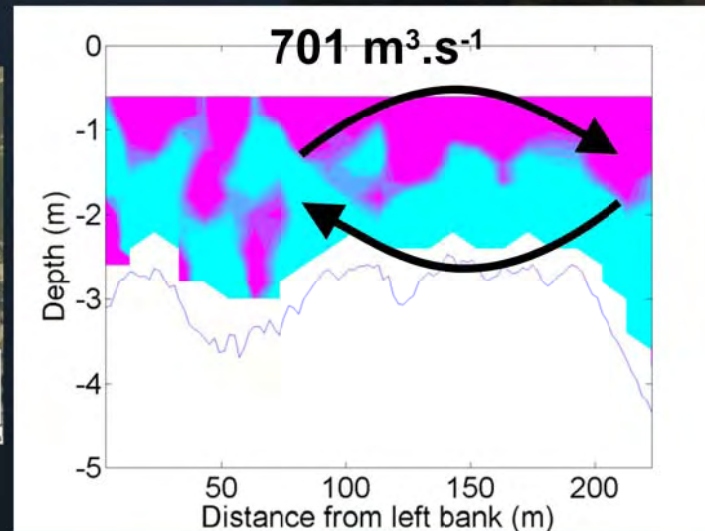
Formations de courants secondaires



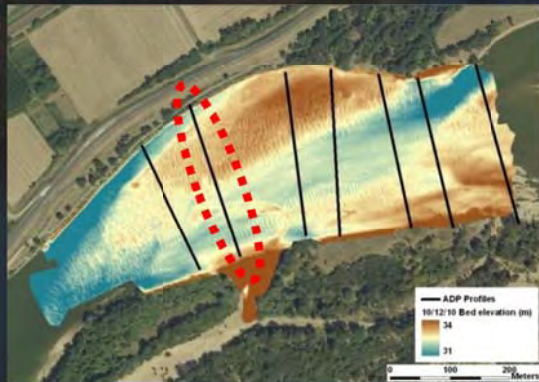
Devant entrée
chenal secondaire



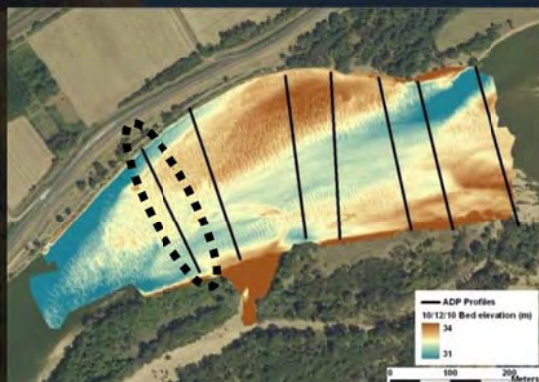
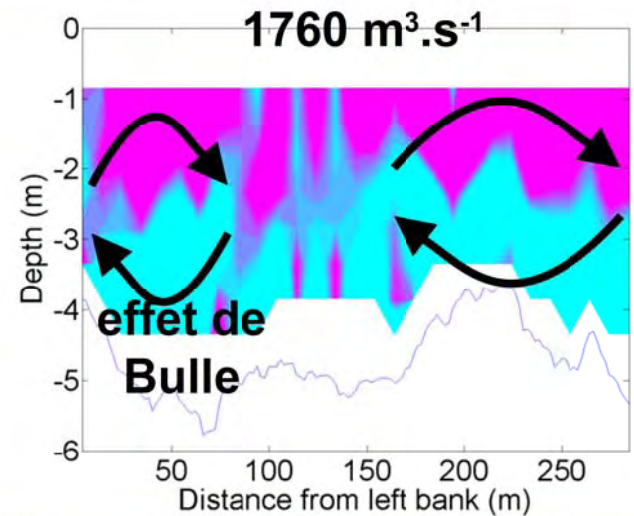
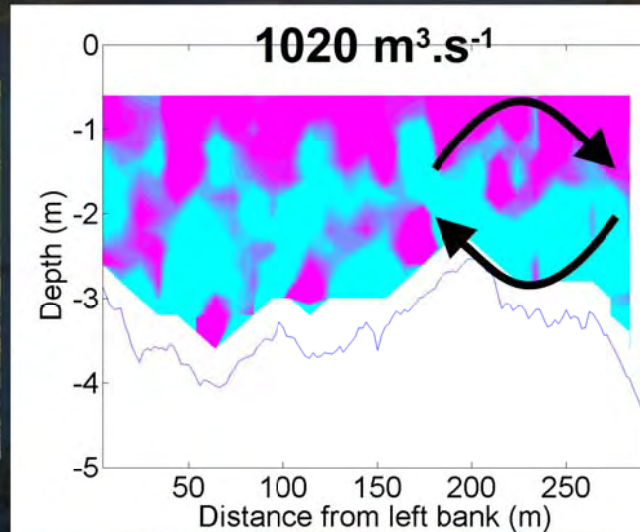
Aval entrée chenal
secondaire



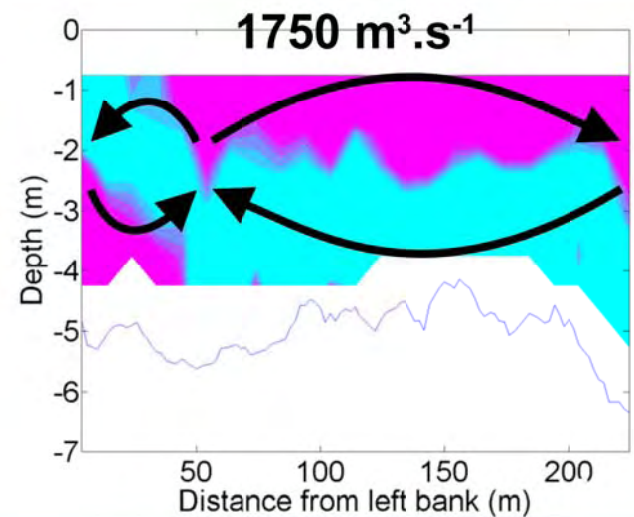
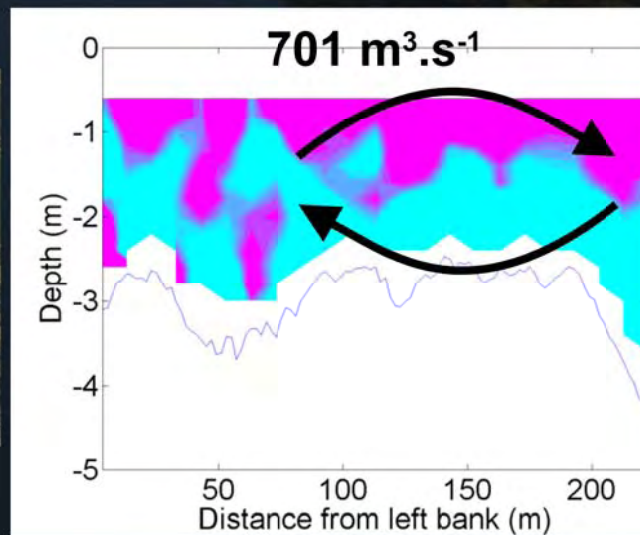
Formations de courants secondaires



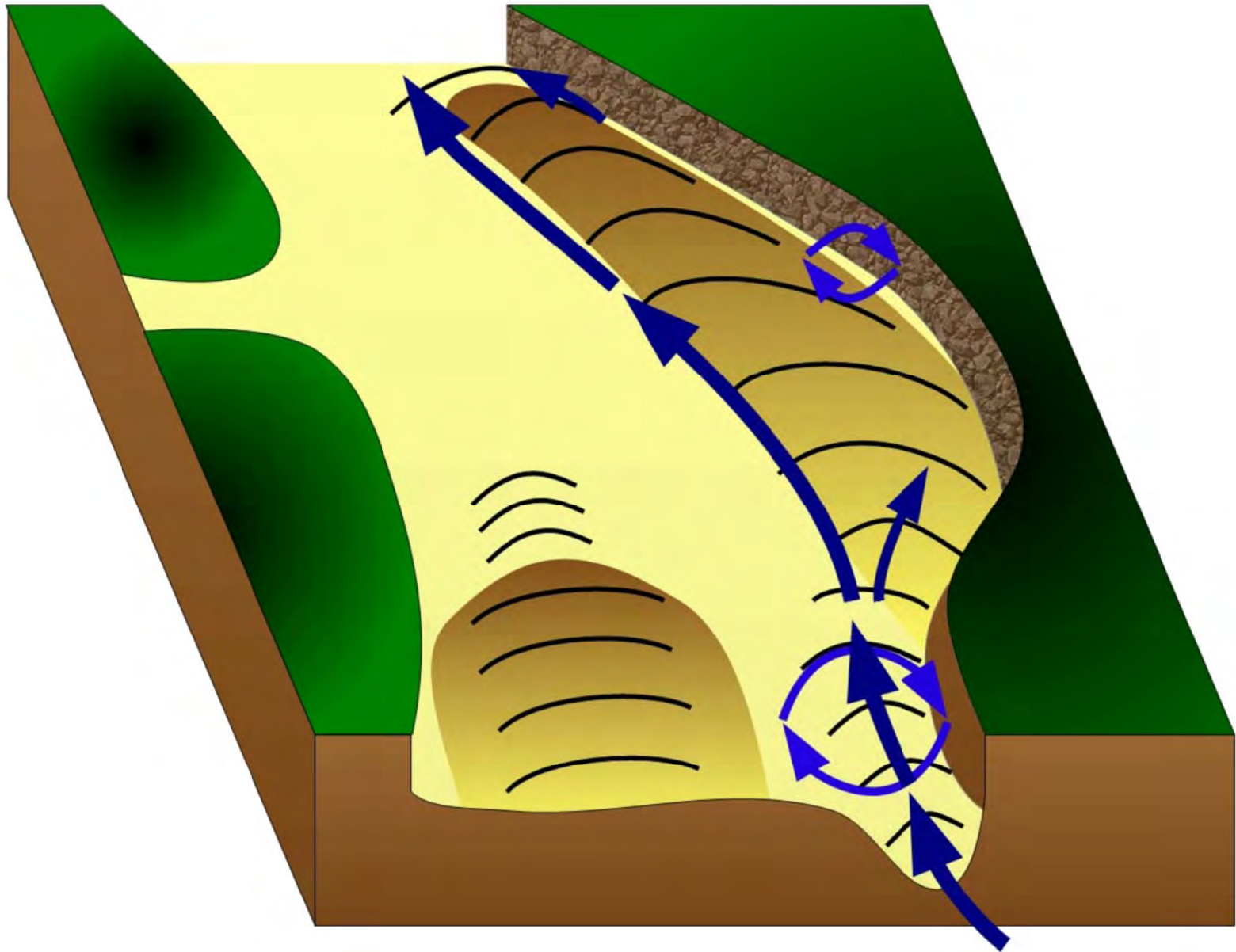
Devant entrée
chenal secondaire



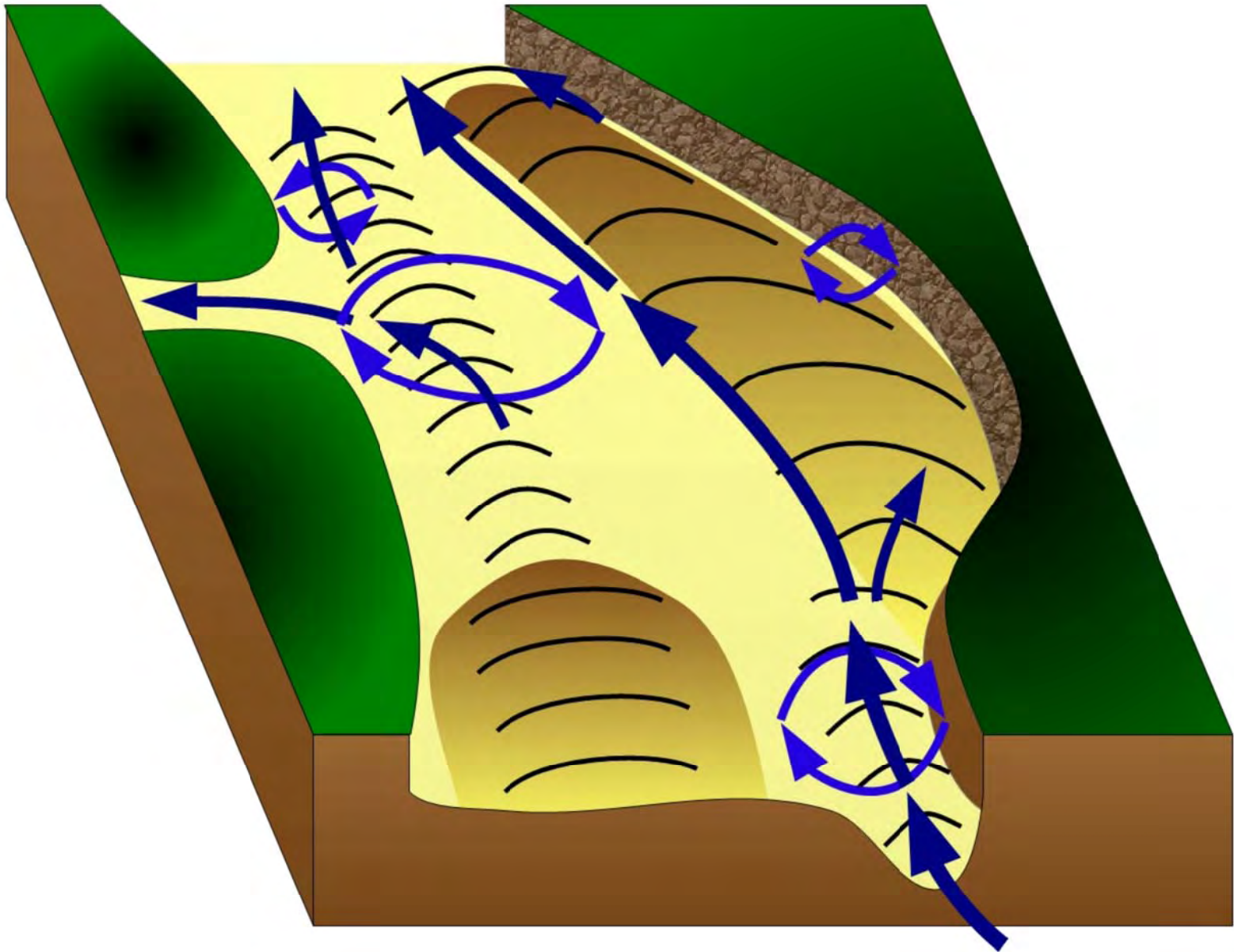
Aval entrée chenal
secondaire



Sans submersion totale du seuil d'entrée du chenal secondaire



Après submersion totale du seuil d'entrée du chenal secondaire



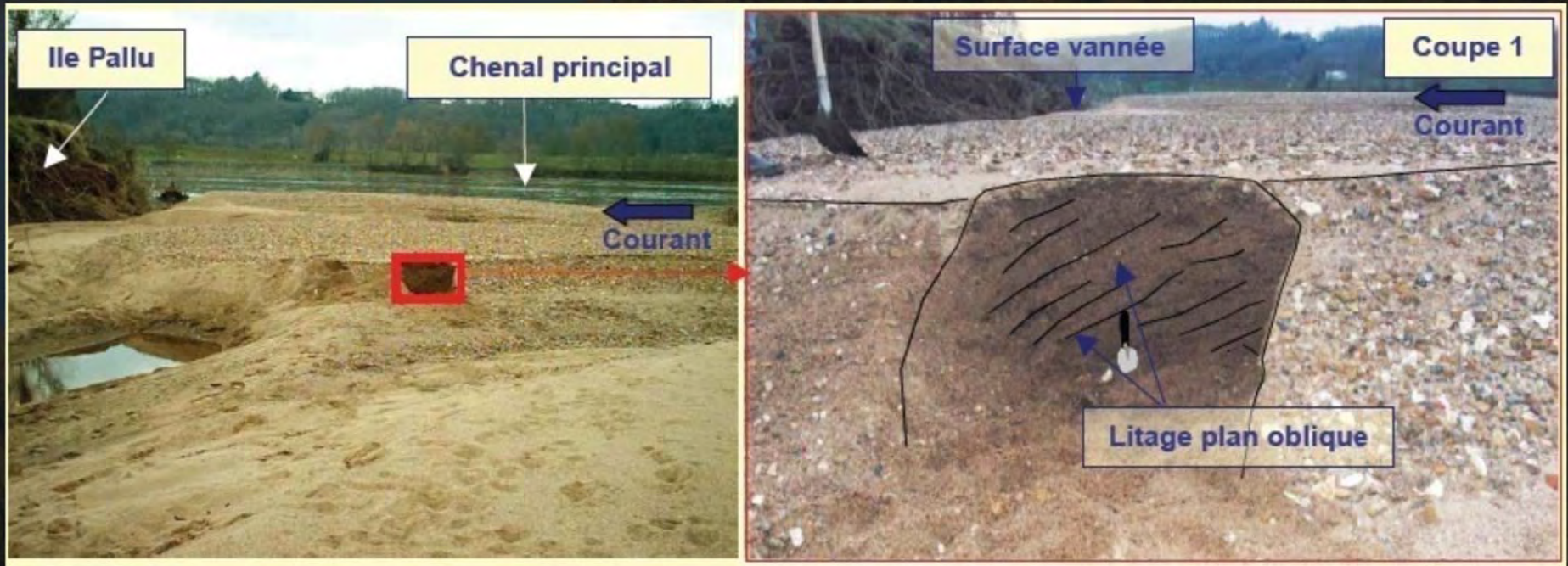


III.3. Dynamique hydro-sédimentaire des bifurcations asymétriques

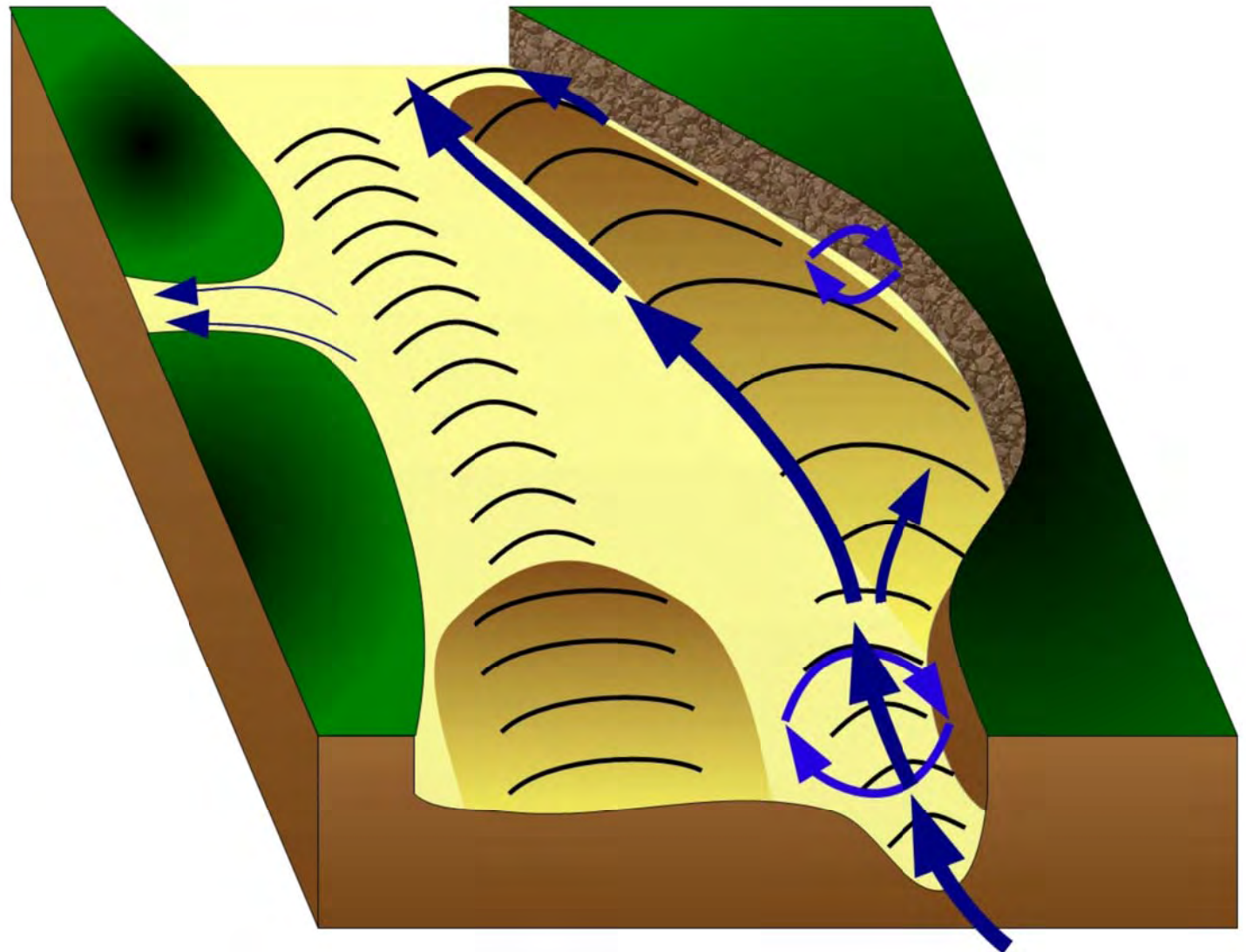
III.3.1. Influence hydraulique d'une bifurcation asymétrique

III.3.2. Modalités d'exportation de la charge de fond

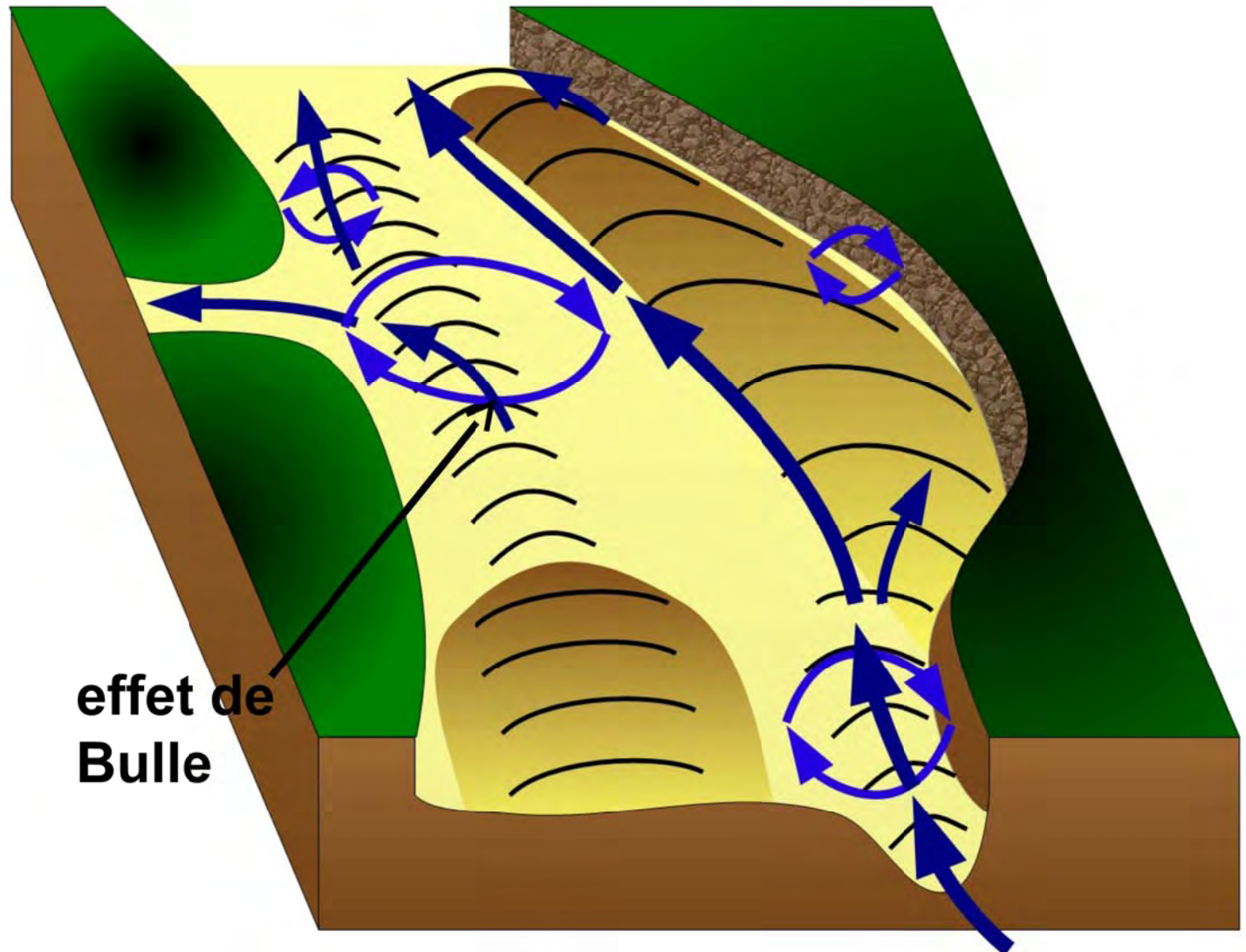
Analyse des processus d'érosion/dépôt pour une crue décennale



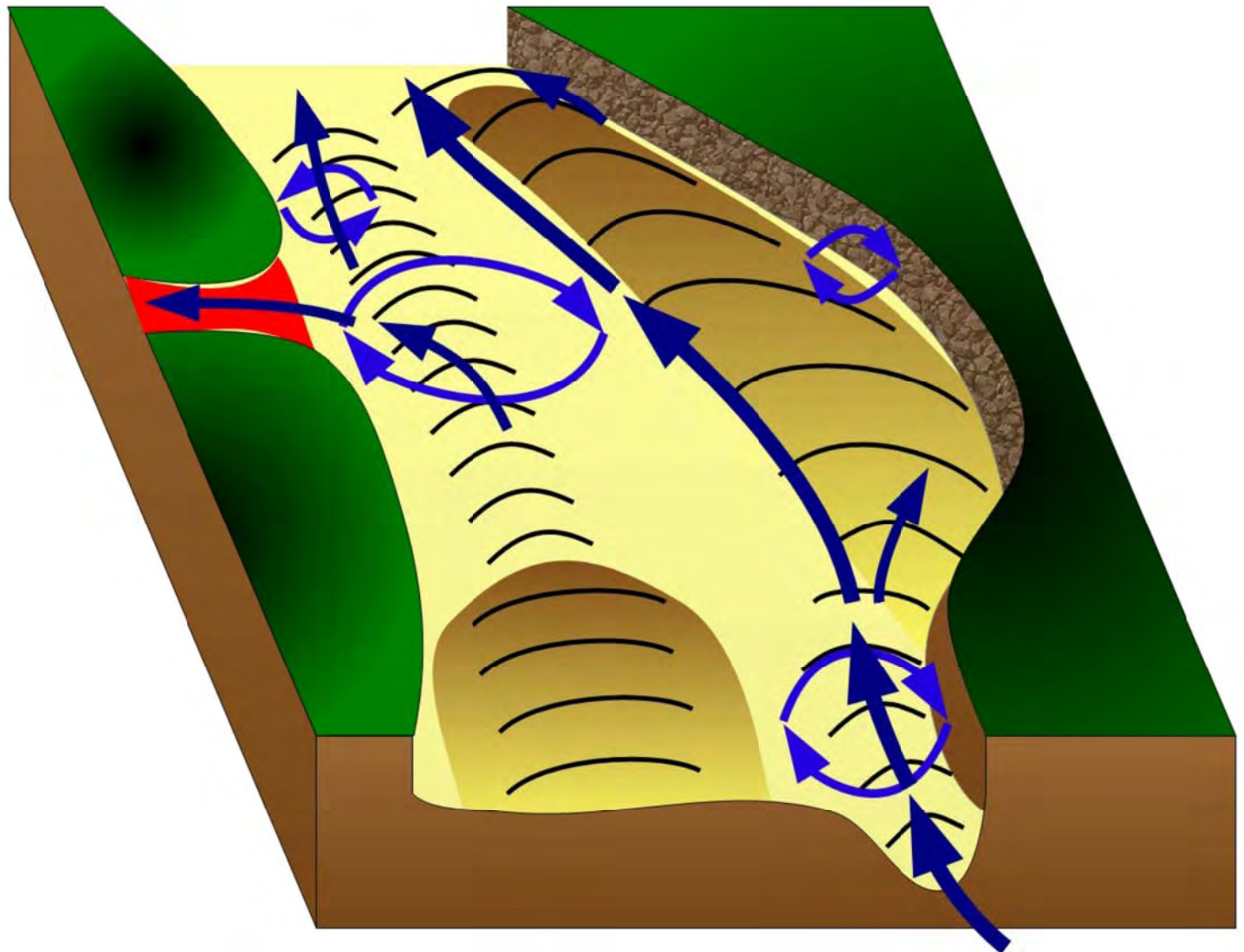
Exportation limitée des sédiments



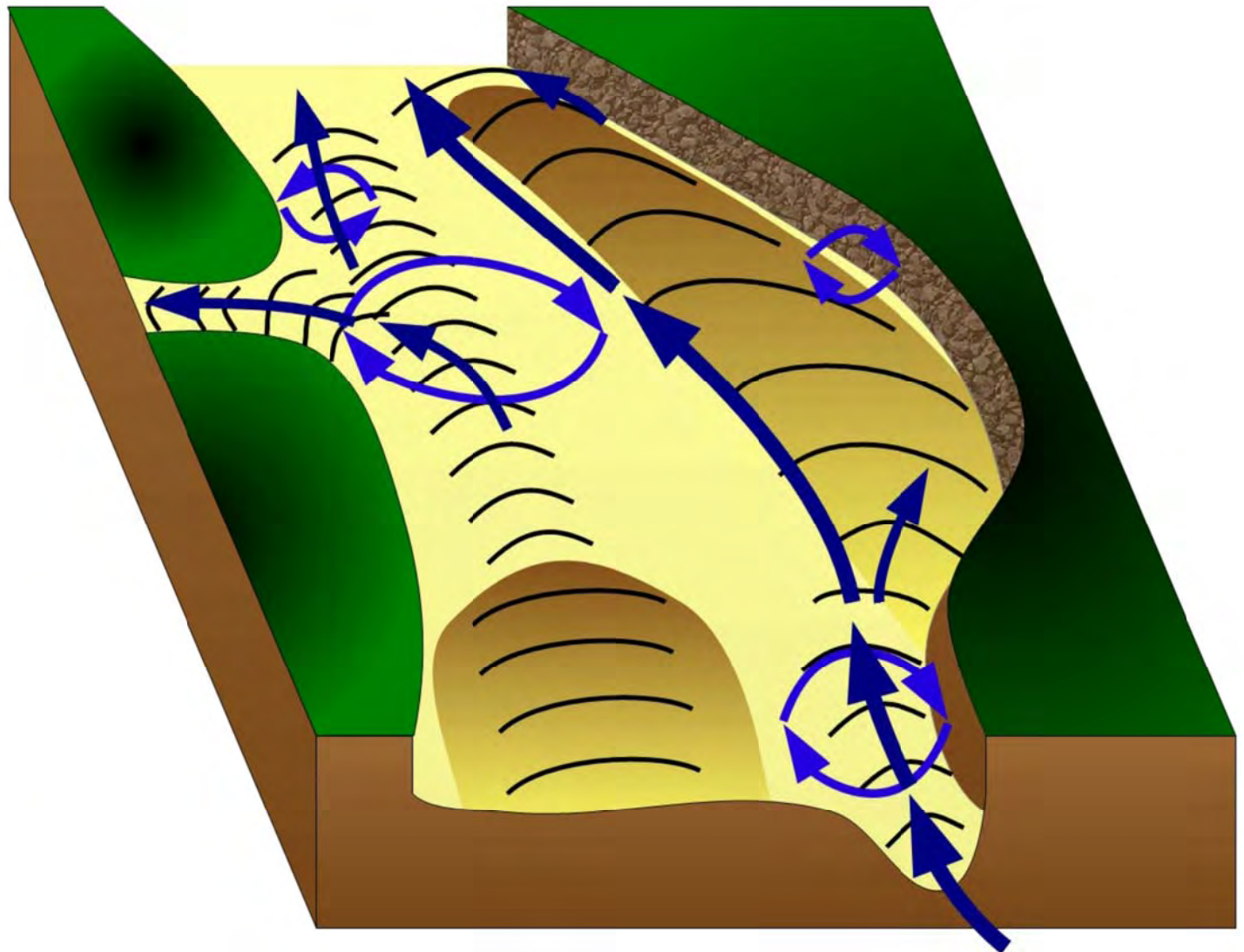
Exportation de la suspension graduée



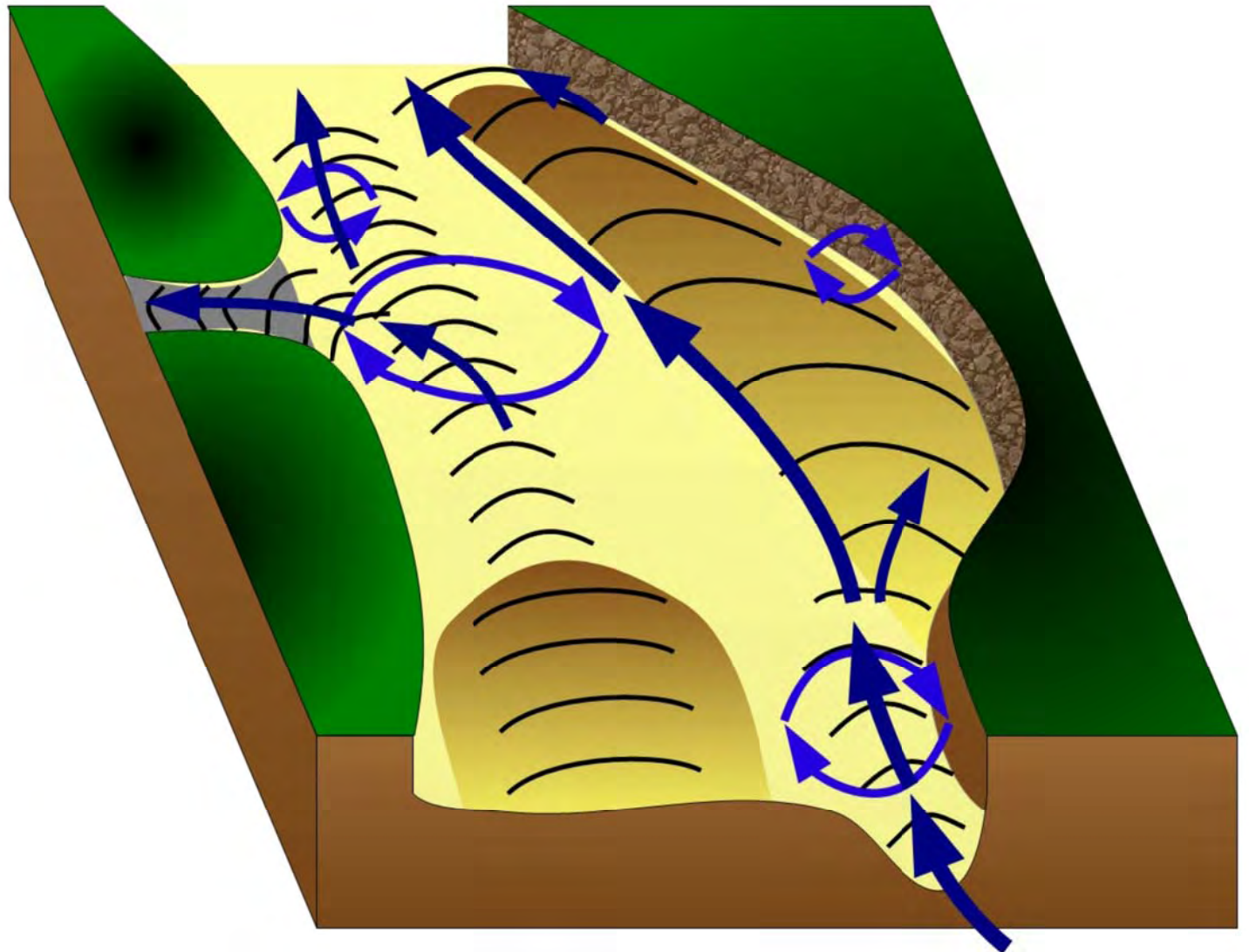
Erosion du seuil d'entrée du chenal secondaire



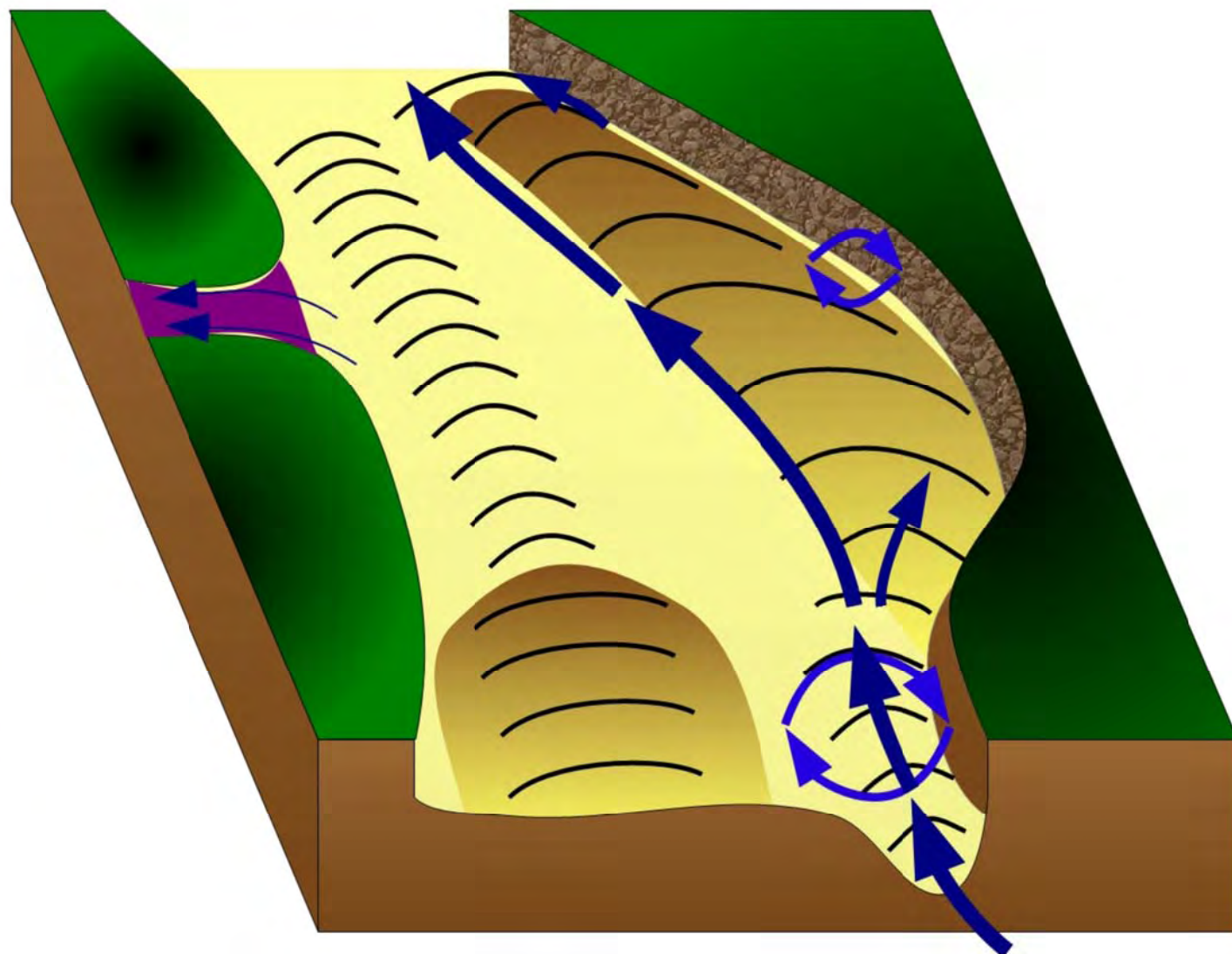
Migration de dunes vers le chenal secondaire



Aggradation du seuil d'entrée du chenal secondaire



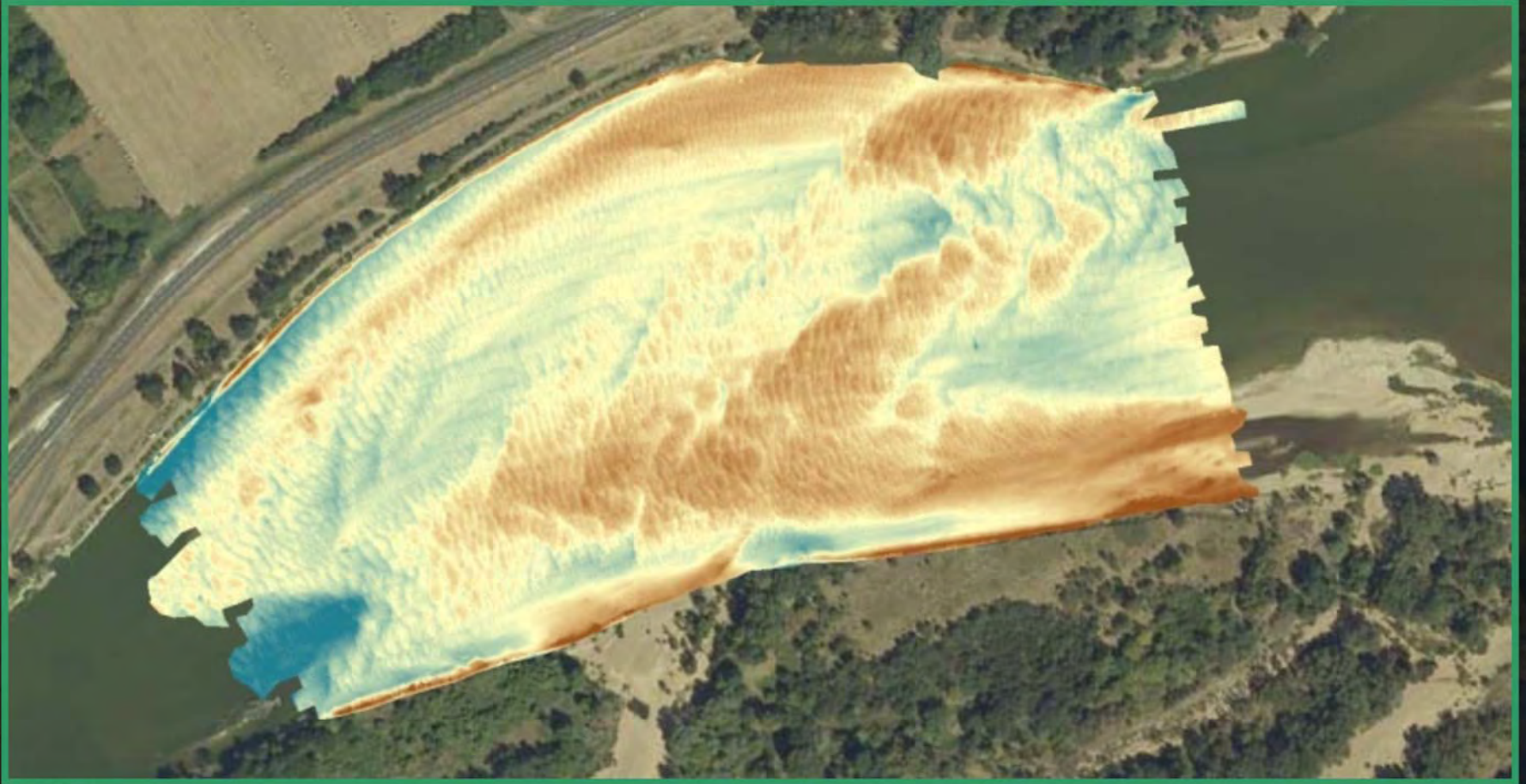
Formation d'une **nouvelle surface armurée**



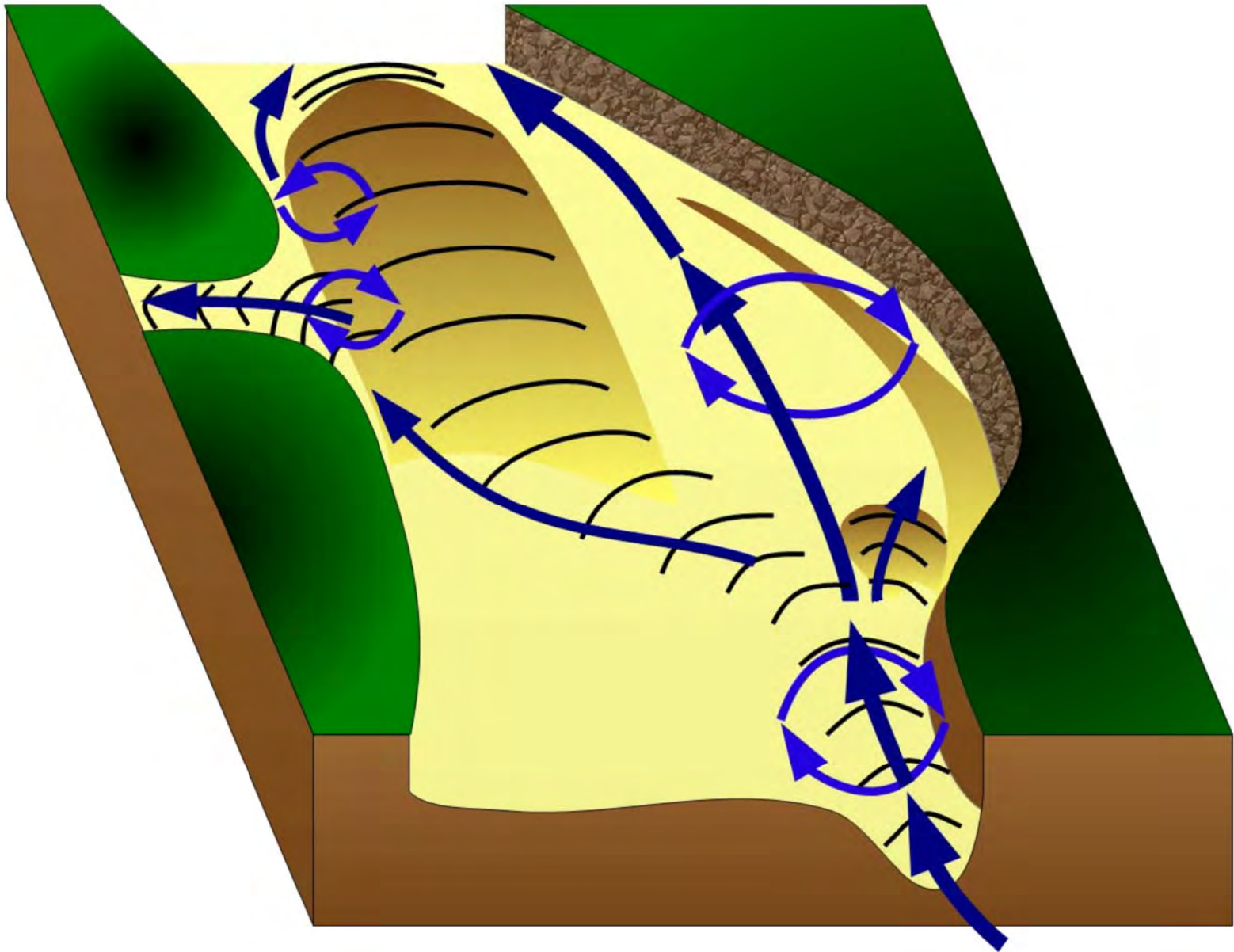
Influence des barres sur l'exportation de la charge de fond ?



Influence des barres sur l'exportation de la charge de fond ?



Influence des barres sur l'exportation de la charge de fond ?



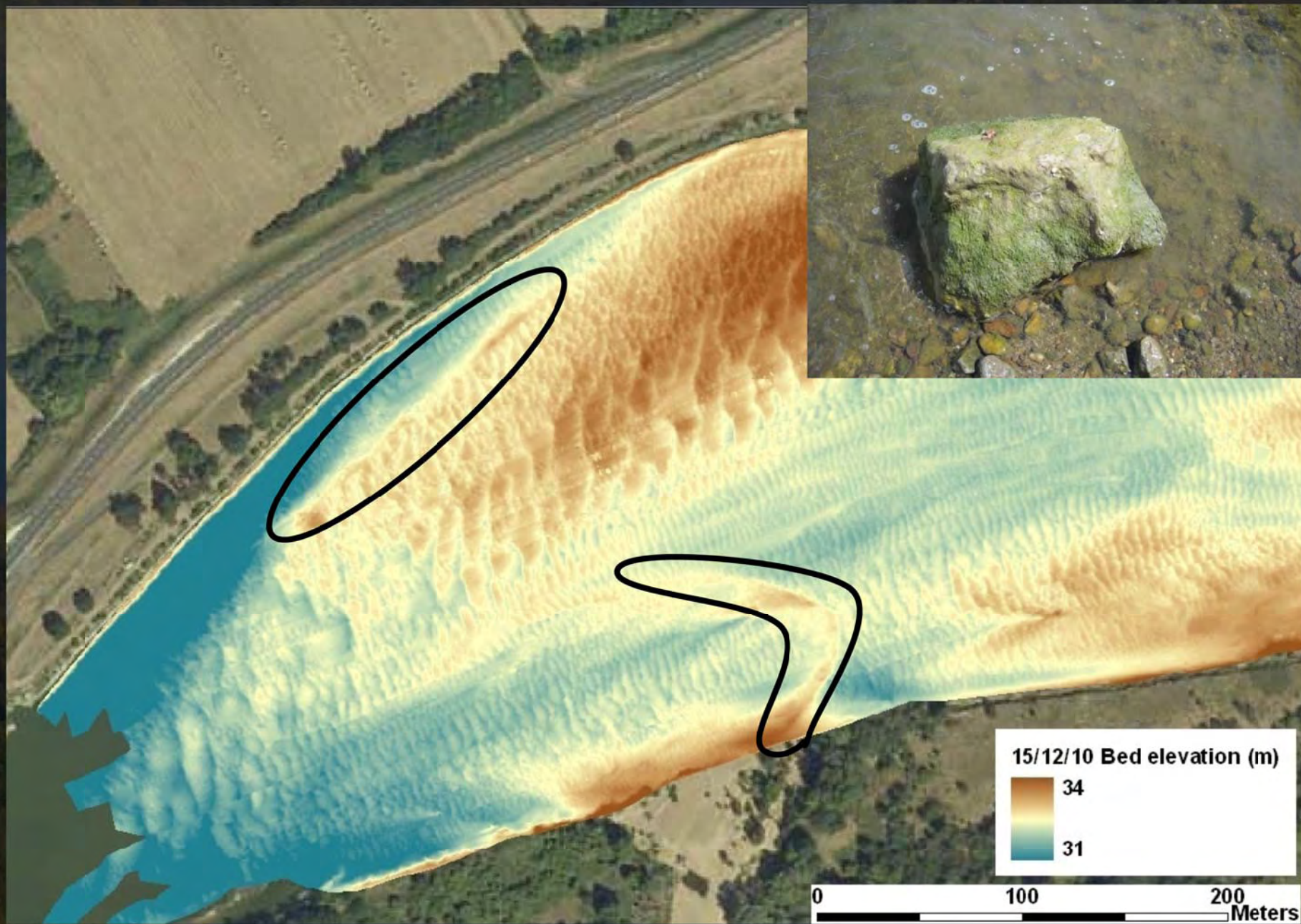
Conclusions : Dynamique hydro-sédimentaire des bifurcations

- Influence hydraulique d'une bifurcation asymétrique après submersion du seuil d'entrée du chenal secondaire
- Exportation de la charge de fond dépendante de la dynamique des seuils d'entrée (surfaces armurées) et des barres

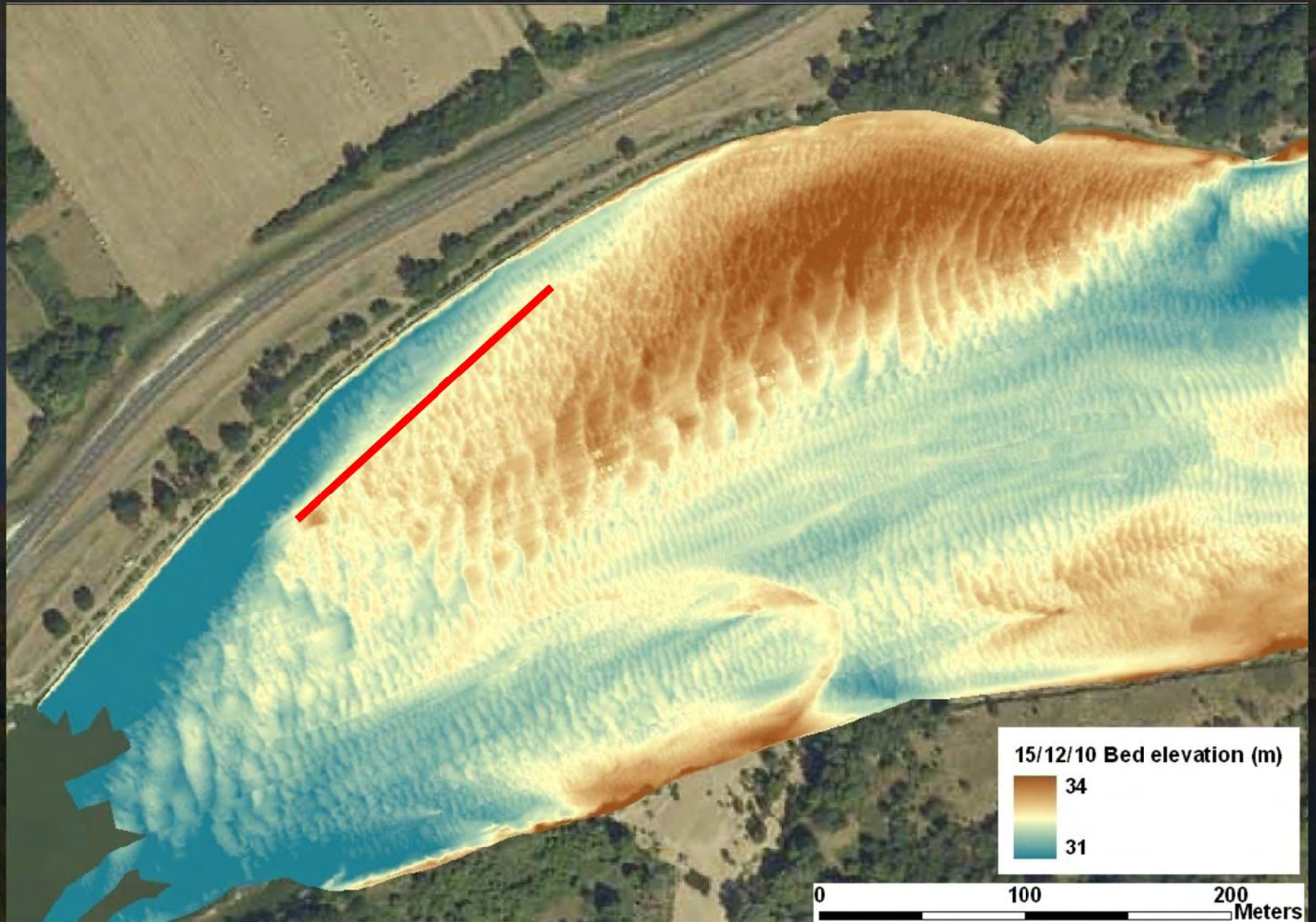
A photograph of a riverbank, likely the Loire, showing a rocky shoreline with some green grass and trees. A semi-transparent text box is overlaid in the center of the image.

III.5. Influence des anciens ouvrages sur la morphologie de la Loire

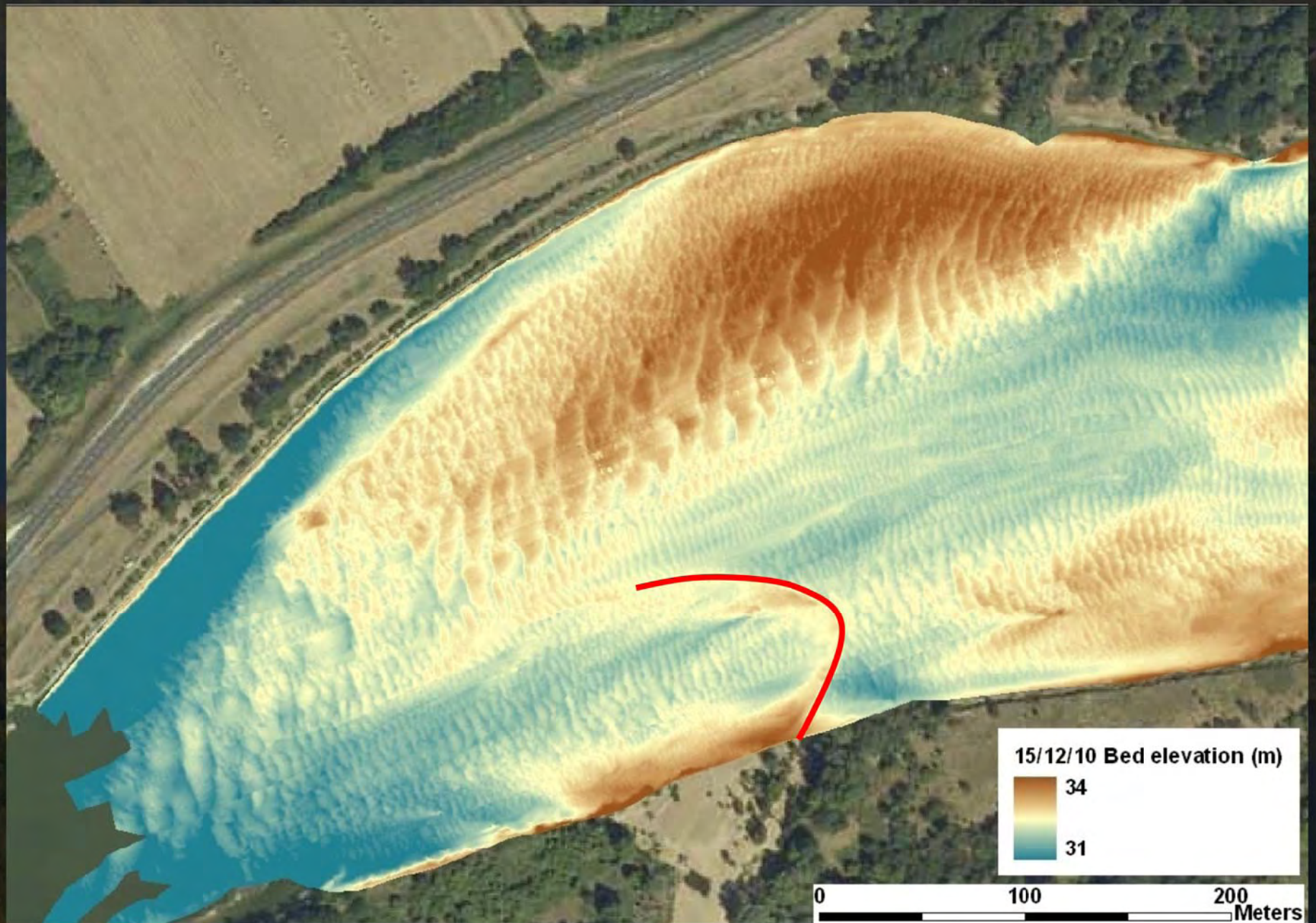
Présence d'anciens ouvrages au sein du lit



Influence des anciens ouvrages



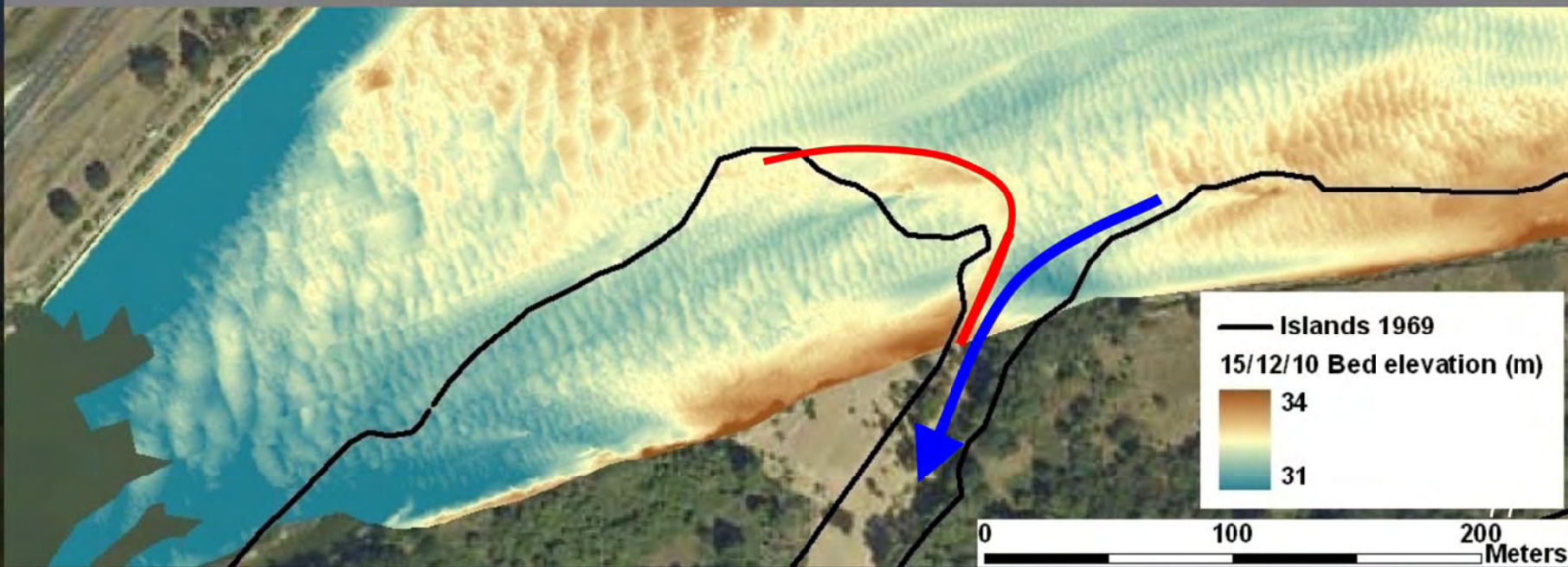
Influence des anciens ouvrages



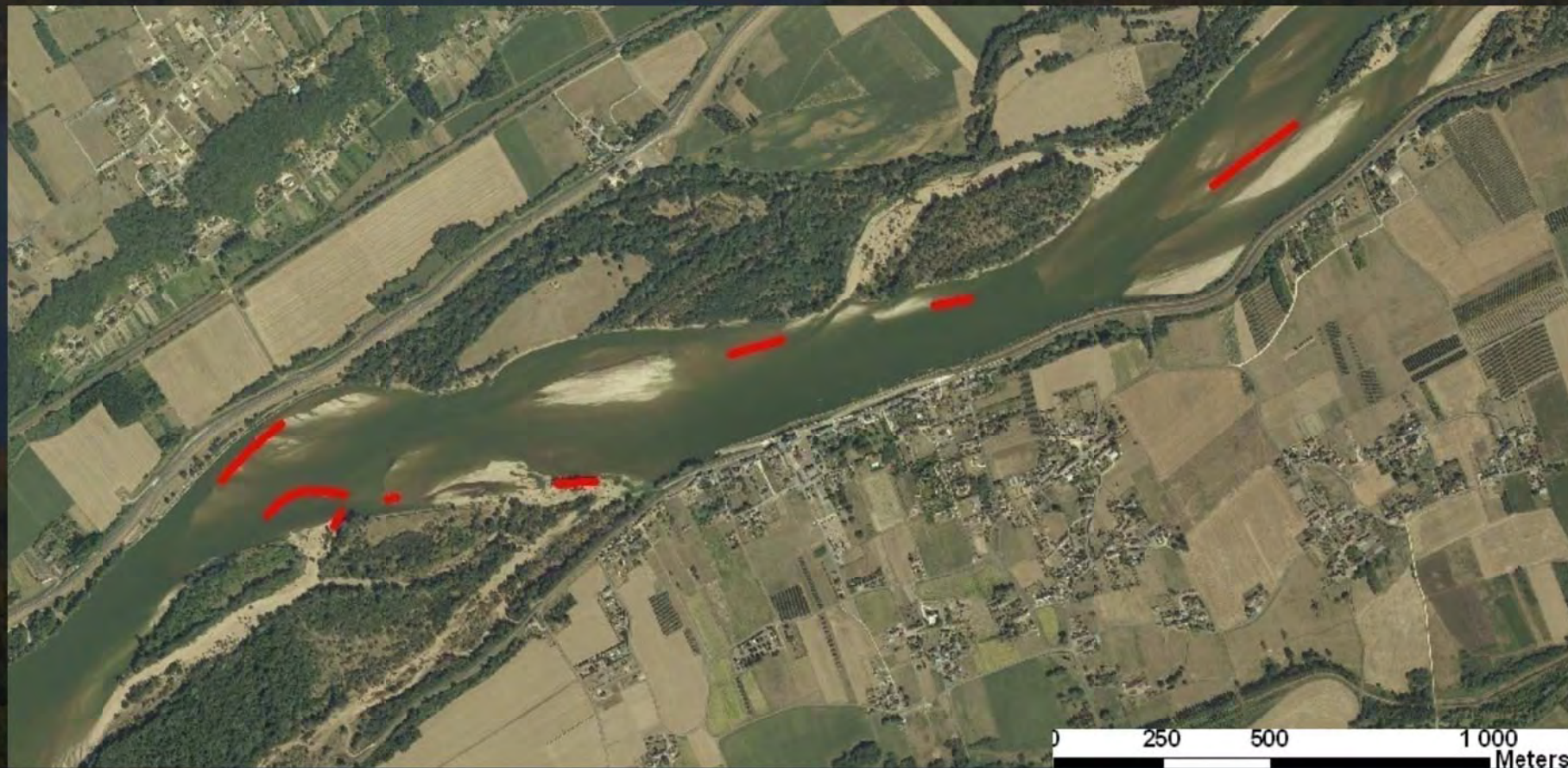
Influence des anciens ouvrages



Epis pour restaurer les chenaux secondaires ?



Anciens ouvrages omniprésents au sein du lit



Mesurer influence des anciens ouvrages sur évolution de la Loire



IV. Conclusions et perspectives

Conclusions

- Charriage annuel en 2010 : 480 000 t
- Estimation du charriage à partir de mesures ADCP et des équations de Van Rijn et Meyer-Peter et Müller
- Périodes de basses eaux particulièrement morphogènes
- Influence hydraulique de la bifurcation après submersion totale du seuil d'entrée du chenal secondaire
- Exportation de la charge de fond après abaissement du seuil d'entrée et/ou grâce à la présence d'une barre en amont du seuil
- Rôle des anciens ouvrages sur le fonctionnement et l'évolution de la Loire

Merci pour votre attention

